ADMINISTRACIÓN

DE PRODUCCIÓN Y OPERACIONES

Octava edición

SOLUCIONES EMPRESARIALES

NORMAN GAITHER
GREG FRAZIER

Resumen de contenido

Parte I

Administración de la producción y de las operaciones: introducción y panorama general 2

Capítulo 1
Administración de la producción y de las operaciones: una introducción 4

Capítulo 2
Estrategia de las operaciones: utilización de la calidad, del costo y del servicio como armas competitivas 24

Capítulo 3
Los pronósticos en la administración de la producción y de las operaciones: punto de partida de toda planeación 58

Parte II

Decisiones estratégicas: planeación de productos, procesos, tecnologías e instalaciones 106

Capítulo 4
Diseño y desarrollo de productos y de procesos de producción: operaciones de manufactura y de servicio 108

Capítulo 5
Tecnología de la producción: selección y administración 160

Capítulo 6
Asignación de recursos a alternativas estratégicas 196

Capítulo 7
Planeación de la capacidad a largo plazo y ubicación de las instalaciones 228

Capítulo 8
Disposición física de las instalaciones 266

Parte III

Decisiones de operación: planeación de la producción para cumplir con la demanda 312

Capítulo 9
Sistemas de planeación de la producción: planeación agregada y programa maestro de la producción 314

Capítulo 10
Sistemas de inventarios sujetos a demanda independiente 354

Capítulo 11
Sistemas de planeación de los requerimientos de recursos Planeación de los requerimientos de los materiales (MRP) y planeación de los requerimientos de capacidad (CRP) 398

Capítulo 12
Planeación y control de piso de taller en la manufactura 438

Capítulo 13
Planeación y programación de operaciones de servicio 476

Capítulo 14
Fabricación o manufactura justo a tiempo (JIT) 516

Capítulo 15
Administración de la cadena de suministros 544

Parte IV

Decisiones de control: planeación y control de las operaciones para la productividad, calidad y confiabilidad 580

Capítulo 16
Productividad, trabajo en equipo y delegación de autoridad: comportamiento, métodos de trabajo y medición del trabajo 582

Capítulo 17
Administración de la calidad 628

Capítulo 18
Control de calidad 662

Capítulo 19
Planeación y control de proyectos 696

Capítulo 20
Administración del mantenimiento y confiabilidad 738

Apéndices
A Distribución de probabilidad normal 768
B Distribución de probabilidad t de Student 770
C Métodos de solución por programación lineal 772
D Respuestas a los problemas impares 814
E Glosario 819
Índice de autores 832
Índice de materias 835
Créditos de fotografías 84

CONTENIDO

PARTE I

ADMINISTRACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y DE LAS OPERACIONES: INTRODUCCIÓN Y PANORAMA GENERAL 2



CAPÍTULO 1

Administración de la producción y de las operaciones: una introducción 4

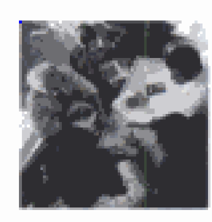
Hitos históricos en la administración de la producción y de las operaciones 7
- *La Revolución Industrial 7*
- *Periodo posterior a la Guerra Civil de Estados Unidos 8*
- *Administración científica 9*
- *Relaciones humanas y ciencias del comportamiento 11*
- *Investigación de operaciones 12*
- *La revolución de los servicios 13*

Factores que actualmente afectan la administración de la producción y de las operaciones 14

Diferentes formas de estudiar la administración de la producción y de las operaciones 15
- *La producción como un sistema 15*
- *La producción como una función organizacional 16*
- *Toma de decisiones en la administración de la producción y de las operaciones 17*

Instantánea industrial
- *1.1 Administración científica en la planta Rouge de Ford 11*

CAPÍTULO 2



Estrategia de las operaciones: utilización de la calidad, del costo y del servicio como armas competititivas 24

Condiciones actuales de los negocios globales 27
- *Realidad de la competencia global 27*
- *Retos estadounidenses respecto a calidad, servicio al cliente y costo 33*
- *Tecnología avanzada de producción 36*
- *Crecimiento continuado del sector de servicios 37*
- *Escasez de los recursos de producción 38*
- *Aspectos relacionados con la responsabilidad social 38*

Estrategia de las operaciones 42
- *Prioridades competitivas de la producción 43*
- *Elementos de la estrategia de operaciones 44*
- *Estrategia de las operaciones en los servicios 47*

Formulación de las estrategias de las operaciones 49
- *Evolución de las estrategias de posicionamiento 49*
- *Vinculación de las estrategias de las operaciones y de mercadotecnia 50*
- *la diversidad de estrategias puede tener éxito 52*

Competitividad de los fabricantes estadounidenses 53

Instantánea industrial
- *2.1 Apertura de los mercados de China a empresas extranjeras 29*
- *2.2 Alianzas estratégicas 32*
- *2.3 La limpieza es rentable 39*
- *2.4 Reciclaje y conservación en la industria 40*
- *2.5 Esfuerzos ambientales en compaq 41*

CAPÍTULO 3

Los pronósticos en la administración de la producción y de las operaciones: punto de partida de toda planeación 58

Métodos cualitativos de pronóstico 60

Modelos cuantitativos de pronóstico 62
- *Precisión del pronóstico 62*
- *Pronósticos a largo plazo 63*
- *Pronósticos a corto plazo 76*

Cómo tener un método de pronóstico exitoso 86
- *Cómo seleccionar un método de pronóstico 86*
- *Cómo monitorear y controlar un modelo de pronóstico 89*

Software para los pronósticos 91

Pronósticos en pequeñas empresas y en negocios que inician 91

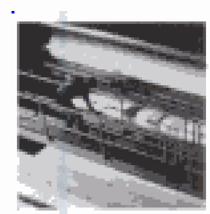
Instantánea industrial
- *3.1 Pronóstico de llamadas telefónicas en L. L. Bean 74*
- *3.2 Uso de un sistema experto de pronóstico en Xerox 87*
- *3.3 Pronóstico de ventas de señales luminosas en Olin Corporation 88*

3.4 Pronósticos enfocados en American Hardware Supply 89

PARTE II

DECISIONES ESTRATÉGICAS: PLANEACIÓN DE PRODUCTOS, PROCESOS, TECNOLOGÍAS E INSTALACIONES 106

CAPÍTULO 4



Diseño y desarrollo de productos y de procesos de producción: operaciones de manufactura y de servicio 108

Diseño y desarrollo de productos y servicios 109
Fuentes de innovación de productos 110
Desarrollo de nuevos productos 110
Cómo introducir más rápidamente nuevos productos en el mercado 111
Cómo mejorar los diseños de productos existentes 114
Diseño para facilidad de la producción 114
Diseño para la calidad 115
Diseño y desarrollo de nuevos servicios 115

Planeación y diseño de los procesos 116

Factores principales que afectan las decisiones de diseño de los procesos 117
Naturaleza de la demanda de productos/servicios 117
Grado de integración vertical 118
Flexibilidad de la producción 119
Grado de automatización 120
Calidad del producto/servicio 120

Tipos de diseños de procesos 120
Enfocado al producto 120
Enfocado al proceso 122
Tecnología de grupo/manufactura celular 123

Interrelaciones entre diseño del producto, diseño del proceso y política de inventarios 126

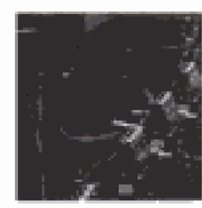
Diseño de procesos en los servicios 129

Decisión entre alternativas de procesamiento 131
Tamaño de los lotes y diversidad de los productos 131
Necesidades de capital para los diseños de procesos 132
Análisis económico 132
Diagramas de ensamble 137
Diagramas de proceso 137

Recorridos de plantas 140
Una fábrica enfocada al producto: Safety Products Corporation, Richmond, Virginia 140
Una fábrica enfocada a los procesos: R. R. Donnelley & Sons, Willard, Ohio 144
Una operación de servicio: centro regional de distribución de Wal-Mart, New Braunfels, Texas 146

Instantánea industrial:
4.1 Applied Research obtiene resultados con buen sonido 110
4.2 Lo que están haciendo algunas empresas estadounidenses para introducir productos nuevos más rápidamente en el mercado 113
4.3 Simulaciones de realidad virtual en el proceso de diseño de productos en boeing 114
4.4 Abastecimiento estratégico del exterior (outsourcing): de la integración vertical a la integración virtual 119
4.5 Compaq ahora produce sobre pedido 129

CAPÍTULO 5



Tecnología de la producción: selección y administración 160

Proliferación de la automatización 161

Tipos de Automatización 162
Aditamentos para máquina 162
Máquinas de control numérico 164
Robots 164
Inspección automatizada del control de calidad 166
Sistemas automáticos de identificación 166
Controles automatizados de procesos 166

Sistemas de producción automatizados 167
Líneas de flujo automatizadas 167
Sistemas de ensamble automatizados 168
Sistemas flexibles de manufactura 168
Sistemas automatizados de almacenamiento y recuperación 170

Fábricas del futuro 171
CAD/CAM 171
Manufactura integrada por computadora 173
Características de las fábricas del futuro 174

Automatización en los servicios 176

Problemas de automatización 178
¿Producción de alta, media o baja tecnologías? 178
Incorporación de flexibilidad en la manufactura 179
Justificación de los proyectos de automatización 180
Administración del cambio tecnológico 181
Desplazamiento, capacitación y reentrenamiento de los trabajadores 182

Decisión entre alternativas de automatización 182

PREFACIO

Conforme las organizaciones líderes de hoy se hacen más austeras y más ágiles, cada vez más se apoyan en sus esbeltas, confiables y eficientes operaciones. En este entorno dinámico, la administración de la producción y las operaciones (POM, por sus siglas en inglés) tiene mayor importancia que nunca. Como se puede observar en esta nueva edición, las operaciones son la pieza vital integradora que permite que todas las áreas funcionales de una organización trabajen juntas. Una organización integral de éxito enfrentará la competencia global con productos de calidad, un extraordinario servicio al cliente y un control efectivo de los costos.

La *ADMINISTRACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y OPERACIONES*, octava edición, presenta a los estudiantes muchos aspectos y problemas de la POM, encarados por los fabricantes y organizaciones de servicio más importantes. Al revisar esta edición encontramos nuevos desarrollos en el campo de la administración, de la producción y de las operaciones, así como los nuevos recursos de información disponibles, como Internet, manteniendo al mismo tiempo un fuerte enfoque en los conceptos básicos de la POM. La meta de este libro es ayudar a los estudiantes a comprender lo que esta materia representa, cómo se relaciona con otras áreas funcionales de una organización, cuáles son los tipos de decisiones que se presentan en este campo, así como enfoques comunes para la toma de decisiones.

Igual que en las ediciones anteriores, los estudiantes deberán haber terminado cursos de álgebra universitaria y de introducción a la estadística, como prerrequisitos para cursos que utilicen este libro como texto. Aunque los principios matemáticos y estadísticos incluidos en el libro no son complejos, aquellos estudiantes que tengan la formación ya mencionada tenderán a desempeñarse mejor.

¿QUÉ ES LO NUEVO EN LA OCTAVA EDICIÓN?

Con esta edición, Norman Gaither presenta a su nuevo coautor, Greg Frazier, de la University of Texas en Arlington. El profesor Frazier aporta todo un cúmulo de conocimientos, antecedentes sólidos de investigación y experiencia práctica. Nos da mucho gusto poder incluir sus conocimientos y su refrescante perspectiva en las páginas de este libro.

Aunque la premisa básica de la *ADMINISTRACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y OPERACIONES* no se ha modificado, la presente edición contiene diversos cambios y revisiones de importancia. Prácticamente todas las secciones Instantáneas industriales son nuevas o fueron actualizadas. Los ejemplos, tablas, referencias y listas de lecturas sugeridas también se actualizaron. Otras nuevas características y coberturas temáticas incluyen:

- **Nuevos problemas y casos.** Se incluyeron más de 100 nuevos problemas y 14 casos nuevos. De éstos en los que se consideró importante, se alienta el uso de aplicaciones con hoja de cálculo.
- **Tareas en Internet.** Al final de cada capítulo se agregaron tareas para realizar en Internet. Esto da a los estudiantes la oportunidad de buscar entre los vastos recursos de Internet, información de importancia respecto a los temas de cada capítulo. Algunas de las tareas requieren respuestas por escrito, que promueven el razonamiento crítico y las habilidades de comunicación.
- **Direcciones de la World Wide Web.** Las direcciones en la Web de empresas y organizaciones analizadas se proporcionan donde resulta importante. Esto permitirá a los estudiantes seguir investigando temas de administración de la producción y las operaciones de organizaciones específicas.
- **Estrategia de las operaciones.** En el capítulo 2 se resalta el papel cada vez más importante que juegan la competencia global y las fuerzas ecológicas en la estrategia de las operaciones.
- **Administración de la cadena de suministros.** El capítulo 15 presenta a los estudiantes la idea de administrar una cadena de suministros. Se presentan temas como compras, logística y almacenamiento desde la perspectiva de administrar el flujo de materiales, desde el proveedor de materia prima hasta el consumidor final de producto terminado.

- **Administración de la producción y las operaciones en los servicios.** En esta edición se enfatizan las operaciones de servicio. De una manera específica se analizan la aplicación de estrategias en las operaciones, la planeación de los procesos, la automatización y la calidad en las operaciones de servicios. Se presentan ejemplos, problemas y casos en escenarios sobre transportación, ventas al detalle y al mayoreo, en la banca y en otras industrias de servicios. El capítulo 13 plantea muchas de las decisiones operativas en los servicios.

AYUDAS PARA LA ENSEÑANZA Y EL APRENDIZAJE

Las características distintivas de la octava edición son:

- **Un enfoque completo, práctico, equilibrado y no teórico de la administración de la producción y las operaciones.** El libro pone al estudiante justo en las funciones de producción/operaciones ante una diversidad de situaciones: manufactura y servicios; pequeños negocios y grandes corporaciones; enfoques cuantitativos y gerenciales; negocios nuevos y establecidos; y negocios con alta tecnología y tradicionales. Muchos de los problemas y ejemplos del libro fueron extraídos de situaciones reales en la industria.
- **Enfoque de resolución de problemas y toma de decisiones.** Cada capítulo incluye ejemplos de problemas en POM con soluciones completas. Estos ejemplos se resuelven paso a paso, para que el estudiante siga todos los detalles de las soluciones. Un punto fuerte del libro se refiere a los conjuntos de problemas y casos, que son numerosos y pueden ser resueltos partiendo directamente de la información incluida en los capítulos. El nivel de dificultad de los problemas es progresivo, según se avance. A fin de mantener los conjuntos de problemas actualizados y efectivos, en esta edición se reemplazaron más de un centenar.

  Los capítulos se presentan en un marco particularmente adecuado para el aprendizaje: los estudiantes pueden pasar de conceptos, ejemplos resueltos, problemas (los impares) con ayuda de respuestas y, finalmente a problemas (los pares) sin ayuda de las respuestas. Este proceso contribuye a construir la comprensión y la autoconfianza en los estudiantes.

- **Énfasis continuo en temas contemporáneos.** Esto incluye:

  Competencia global, administración de la calidad y servicio al cliente. Estos temas se presentan en el capítulo 2. Como estos tres temas afectan todas las facetas de la administración de la producción y las operaciones, su influencia es motivo de análisis en todo el libro. El capítulo 17, Administración de la calidad, y el capítulo 18, Control de la calidad, presentan la filosofía general y los métodos para administrar la calidad.

  Manufactura justo a tiempo (JIT). El capítulo 14 analiza la filosofía y los métodos para planear y controlar operaciones de manufactura. Todo el libro tiene incorporada la forma en que JIT afecta operaciones tales como compras, administración de los materiales, relaciones y políticas laborales, control de la calidad, servicio al cliente y otras.

  Tecnología avanzada de producción. El capítulo 1 presenta a los estudiantes la automatización y sus conceptos relacionados. El capítulo 2 analiza las implicaciones estratégicas de la manufactura de alta tecnología. El capítulo 5 analiza clases de máquinas y sistemas de producción automatizados, y los conceptos y problemas relacionados con ello. Estos temas se describen y se ilustran desde la perspectiva del gerente de operaciones y la forma en que afectan el desempeño estratégico de las operaciones.

- **Instantáneas industriales.** En cada capítulo se incluyen narraciones especiales de aplicaciones en la industria; muchas de ellas son nuevas en esta edición. Estas Instantáneas industriales se han resaltado visualmente para enfatizar su importancia en relación con los temas analizados. En estas narraciones, siempre que es posible, se utilizan los nombres verdaderos de la empresa y las personas, y su situación real, a fin de mostrar a los estudiantes lo importante de lo aprendido en los cursos de administración de la producción y las operaciones.
- **Recopilación: Lo que hacen los productores de clase mundial.** Esta característica única al final de cada capítulo reemplaza el resumen convencional. Los análisis aplican los principios vistos en el capítulo a lo que están haciendo las empresas mejor administra-



das del mundo, en los mercados globalmente competitivos. Con este procedimiento, a través de todo el libro se integran los pensamientos más modernos y avanzados sobre estructuración, análisis y administración de los sistemas de producción.

COMPLEMENTOS

Este libro cuenta con una serie de complementos para el profesor, los cuales están en inglés y sólo se proporcionan a los docentes que adopten la presente obra como texto para sus cursos. Si desea obtener mayor información acerca de todo este material, favor de comunicarse a las oficinas de nuestros representantes o a la siguiente dirección de Internet: clientes@mail.internet.com.mx.

RECONOCIMIENTOS

Al terminar esta edición, muchas personas merecieron reconocimiento por su contribución al proyecto. En particular, Pat McMullen de la University of Maine, quien proporcionó retroalimentación, así como ideas valiosas. Otros que han contribuido tanto a las revisiones formales como informales del manuscrito, merecen un especial reconocimiento:

F. J. Brewerton, *University of Texas-Pan American*
George D. Brower, *Moravian College*
Russel A. Chambers, *Urbana University*
Dinesh S. Dave, *Appalachian State University*
Abe Feinberg, *California State University, Northridge*
Jorge Haddock, *Rensselaer Institute of Technology*
Steve Hora, *University of Hawaii at Hilo*
Jeffrey B. Kaufmann, *Saint Mary's University*
Jeffrey F. Sherlock, *Huntington College*
Arijit K. Sengupta, *New Jersey Institute of Technology*
K. Paul Yoon, *Fairleigh Dickinson University*

Por último, pero igual de importante, también reconocemos los esfuerzos de los miembros del Management and Marketing Publishing Team en South-Western College Publishing, quienes trabajaron con nosotros en la revisión. Debe mencionarse particularmente a nuestro editor, Charles McCormick, Jr., a la editora de desarrollo Alice Denny, al editor de producción Kara ZumBahlen y al gerente de mercadotecnia Joe Sabatino. El atractivo y útil diseño editorial del nuevo libro se debe al trabajo de la diseñadora Jennifer Martin y a la supervisión de Cary Benbow en la búsqueda de material fotográfico.

Norman Gaither
Greg Frazier

El software POM, problemas y casos analizados en el libro están disponibles en nuestro sitio de Internet; para mayor información favor de comunicarse con el representante de ventas local o escribir a la siguiente dirección electrónica : editor@thomsonlearning.com.mx

ACERCA DE LOS AUTORES

Después de muchos años de colaboración profesional y amistad, Norman Gaither y Greg Frazier se han unido para la octava edición de este exitoso libro.

NORMAN GAITHER

Norman Gaither es Profesor Emérito de Business Analysis and Research en la Texas A&M University. Recibió su Ph.D. y su M.B.A. de la University of Oklahoma y su B.S.I.E. del Oklahoma State University. Antes de impartir clases, el profesor Gaither trabajó en Olin Corporation, donde se hizo cargo de los puestos de ingeniero industrial en jefe, gerente de planta y director de una operación multiplanta, y en B.F. Goodrich Company, como ingeniero industrial senior.

Los numerosos escritos del profesor Gaither sobre la administración de la producción y las operaciones han aparecido en *Management Science, Decision Sciences, International Journal of Production Research, Journal of Production and Inventory Management, Academy of Management Journal, Academy of Management Review, Simulation, Journal of Purchasing and Materials Management, Journal of Operations Management, IIE Transactions, Journal of Cost Analysis* e *International Journal of Operations and Production Management.*

Forma parte de los consejos editoriales del *Journal of Production and Inventory Management,* el periódico de la American Production and Inventory Control Society (APICS), en el *International Journal of Production Research, Production and Operations Management,* y el periódico de la Production and Operations Management Society (POMS), y el *Journal of Operations Management,* que es la publicación de la Operations Management Association (OMA). Tiene también el nombramiento de Federal Faculty Fellow AACSB.

El profesor Gaither sigue activo en asuntos de administración de la producción y las operaciones en el gobierno, la industria y varias asociaciones profesionales.

GREG FRAZIER

Greg Frazier es Assistant Professor of Production and Operations Management en el Department of Information Systems and Management Sciences en The University of Texas en Arlington. Tiene el nombramiento de APICS Certified Fellow en Production and Inventory Management (CFPIM) y ha fungido de Faculty Fellow en The Boeing Company.

El doctor Frazier recibió un B.S. en ingeniería mecánica y un M.B.A. de la Texas A&M University. Su Ph.D. en administración de la producción y las operaciones también proviene de la Texas A&M, donde Norman Gaither fue presidente del grupo de sinodales.

La larga asociación del doctor Frazier con Norman Gaither ha resultado en la coautoría de artículos para varias publicaciones, incluyendo el *Journal of Operations Management, International Journal of Production Research* y el *Production and Inventory Management Journal.* También ha hecho publicaciones en periódicos como el *International Journal of Production Economics, Journal of Productivity Analysis* y *Business Horizons.*

Este libro está dedicado a:

Charles y Lavonne Frazier
Amanda Lynn Frazier



Parte I

Administración de la producción y de las operaciones
Introducción y panorama general

Capítulo 1
Administración de la producción y de las operaciones: Una introducción

Capítulo 2
Estrategia de las operaciones: Utilización de la calidad, del costo y del servicio como armas competitivas

Capítulo 3
Pronósticos en la administración de la producción y de las operaciones: punto de partida para toda planeación

La administración de las operaciones sigue siendo una apasionante área de estudio conforme nos dirigimos al siglo XXI. Muchas industrias se encuentran en un periodo de cambios rápidos ocasionados por adelantos tecnológicos. Los avances en la tecnología de las comunicaciones han permitido que decenas de miles de empresas logren operaciones de alcance mundial. Los adelantos en las tecnologías de cómputo están modificando la forma en que las empresas administran sus operaciones y la forma en que interactúan con otras organizaciones. El crecimiento explosivo de Internet y de la World Wide Web está creando nuevas industrias y presentando nuevos retos de administración de las operaciones. Además, el crecimiento continuado de las industrias de servicio en Estados Unidos ha desplazado el estudio de la administración de la producción y de las operaciones de su anterior enfoque primario en la manufactura a su enfoque actual, más equilibrado, en servicios y manufacturas.

Cada vez más los clientes esperan productos de mayor calidad a precios menores y con una entrega más rápida, razón por la cual, el estudio de la administración de las operaciones tiene mayor importancia que nunca. Si usted ha elegido una carrera en administración de las operaciones, lo que aprenderá en este curso le proporcionará una introducción importante al campo de estudio; si se dirige a otra profesión, como contabilidad, mercadotecnia, finanzas, sistemas de información, recursos humanos o ingeniería, lo que usted estudie en este libro será de importancia porque tendrá que interactuar con la administración de las operaciones y con sus problemas, oportunidades y retos.

La Parte I de esta obra trata lo siguiente:

1. Un panorama general del campo de la administración de operaciones: su historia, los retos de hoy y mañana, y los principales factores que probablemente conformarán la estructura y sistemas de producción del futuro.
2. Distintos marcos para el estudio de la administración de las operaciones: la producción como sistema, la producción como función organizacional y la toma de decisiones, que son formas útiles de concebir la administración de la producción y de las operaciones. Cada uno de los capítulos del libro encaja en este marco: decisiones estratégicas (Parte II), decisiones de operación (Parte III), y decisiones de control (Parte IV).
3. Un estudio de la estrategia comercial y de la estrategia de las operaciones necesarias para competir en los mercados mundiales: una evaluación del clima económico, un estudio del proceso de desarrollar estrategias de operaciones y una exploración de las estrategias disponibles que permiten a las organizaciones estadounidenses competir en el clima comercial global del mañana.
4. Una investigación de los métodos de pronóstico y sus sistemas como punto de partida para el desarrollo de estrategias y operaciones comerciales de éxito.

CAPÍTULO 1

ADMINISTRACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y DE LAS OPERACIONES

UNA INTRODUCCIÓN

Introducción

Hitos históricos en la administración de la producción y de las operaciones
La Revolución Industrial
Periodo posterior a la Guerra Civil de Estados Unidos
Administración científica
Relaciones humanas y ciencias del comportamiento
Investigación de operaciones
La revolución del servicio

Factores que actualmente afectan la administración de la producción y de las operaciones

Diferentes formas de estudiar la administración de la producción y de las operaciones
La producción como un sistema
Un modelo de sistema de producción • Diversidad de los sistemas de producción
La producción como una función organizacional
Toma de decisiones en la administración de la producción y de las operaciones
Decisiones estratégicas, de operación y de control • Marco basado en decisiones de este libro

Recopilación: Lo que hacen los productores de clase mundial

Preguntas de repaso y de análisis

Tareas en Internet

Notas finales

Bibliografía seleccionada



CÓMO AGREGAR VALOR MEDIANTE UNA MEJOR ADMINISTRACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y DE LAS OPERACIONES DE SERVICIO

Una mejor administración de las operaciones de una empresa puede agregarle un valor sustancial, mejorando su competitividad y su rentabilidad a largo plazo. Piense en los siguientes ejemplos de decisiones de operación importantes en algunas empresas: Intel necesita construir una nueva planta de manufactura de varios miles de millones de dólares para producir su siguiente generación de microcircuitos para computadora. ¿Dónde deberá construirla? American Airlines necesita asignar los recursos suficientes para cumplir con toda la demanda de clientes de transportación aérea del mes siguiente. ¿De qué manera deberá asignar aeronaves de diferentes tamaños a rutas de vuelo, pilotos a aeronaves y asistentes de vuelo a vuelos? Hewlett-Packard debe incrementar la producción de un modelo de cartuchos de tinta para impresora en una línea de producción que ya está operando a plena capacidad. ¿Cuál es la forma más eficaz en su costo de rediseñar la línea de producción para incrementar el volumen? El gerente del centro de llamadas de urgencia 911 de Chicago desea utilizar mejor el personal que contesta las llamadas y evitar largas esperas para quienes llaman al 911, mejorando la precisión de su pronóstico. ¿Qué método deberá emplearse para pronosticar la cantidad de llamadas al 911 recibidas durante cada turno de trabajo?

Estos ejemplos son apenas una pequeña muestra de los problemas a que se enfrentan los gerentes de operaciones. Las malas decisiones de operación pueden dañar la posición competitiva de una empresa e incrementar sus costos; en cambio, las buenas decisiones de operación pueden mejorar el valor de la empresa al incrementar su rentabilidad y crecimiento. La comprensión de los principios fundamentales de la administración de operaciones y la posibilidad de ser capaz de utilizar una diversidad de herramientas comunes para la toma de decisiones así como métodos de solución de problemas es la clave para tomar mejores decisiones de operación.

Como sugieren los párrafos anteriores, la administración de la producción y de las operaciones es una disciplina importante en la lucha por mantenerse competitivo en un mercado mundial continuamente en cambio.

De las muchas funciones en los negocios, tres se consideran primarias: producción, mercadotecnia y finanzas. Este libro se refiere a la administración de la producción y de las operaciones.

*La **administración de la producción y de las operaciones** es la administración del sistema de producción de una organización, que convierte insumos en productos y servicios.*

Un sistema de producción toma insumos —materias primas, personal, máquinas, edificios, tecnología, efectivo, información y otros recursos— y los convierte en productos —bienes y servicios. Este proceso de conversión es el centro de lo que se conoce como **producción** y es la actividad predominante de un sistema de producción. Dado que los gerentes de administración de la producción y de las operaciones, mismos que identificaremos simplemente como **gerentes de operaciones**, administran el sistema de producción, su preocupación principal se centra en las actividades del proceso de conversión, es decir, de la producción.

Los administradores en la función de mercadotecnia son responsables de la creación de una demanda para los productos y servicios de una organización. Los administradores en la función de finanzas son responsables de lograr los objetivos financieros de la empresa. Los negocios no pueden tener éxito sin producción, mercadotecnia o finanzas. Sin la producción, no se producirían ni productos ni servicios; sin la mercadotecnia, no se venderían ni productos ni servicios, y sin las finanzas, seguramente el resultado sería el fracaso financiero. Aunque la producción, la mercadotecnia y las finanzas actúan de manera independiente para lograr sus metas funcionales individuales, actúan conjuntamente para lograr las metas de la organización. El logro de las metas organizacionales de rentabilidad, supervivencia y crecimiento en un clima comercial dinámico requiere de traba-

TABLA 1.1 ALGUNOS PUESTOS DE TRABAJO EN LA ADMINISTRACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y DE LAS OPERACIONES

Industria manufacturera: Título del puesto	Línea/ Apoyo	Descripción/Responsabilidades del puesto	Industria de servicios: Título de un puesto similar
Supervisor de producción	Línea	Supervisa a los empleados conforme se producen los productos o servicios. Responsable del costo, la calidad y el rendimiento del programa de producción.	Supervisor de departamento
Planeador/Comprador de compras	Apoyo	Adquiere productos o servicios para apoyar a la producción. Responsable del desempeño de los proveedores.	Agente de compras
Analista de inventarios	Apoyo	Supervisa todos los aspectos de los inventarios. Responsable de los niveles de inventarios, sus auditorías, la precisión de los registros, autorización de los pedidos y su seguimiento.	Analista de inventarios
Controlador de producción	Apoyo	Autoriza la emisión de las órdenes de producción, desarrolla programas y planes de producción, y hace seguimiento de las órdenes. Responsable de cumplir con las fechas de entrega a los clientes y de la eficiencia de la carga de la planta.	Programador asesor Programador de transportes
Analista de producción	Apoyo	Analiza los problemas de la producción, desarrolla pronósticos, planes para nuevos productos y realiza otros proyectos especiales.	Analista de operaciones
Especialista de calidad	Apoyo	Supervisa el muestreo de aceptación, el control del proceso y la administración de la calidad. Responsable de la calidad del producto, la de los proveedores y la de la producción.	Especialista de calidad

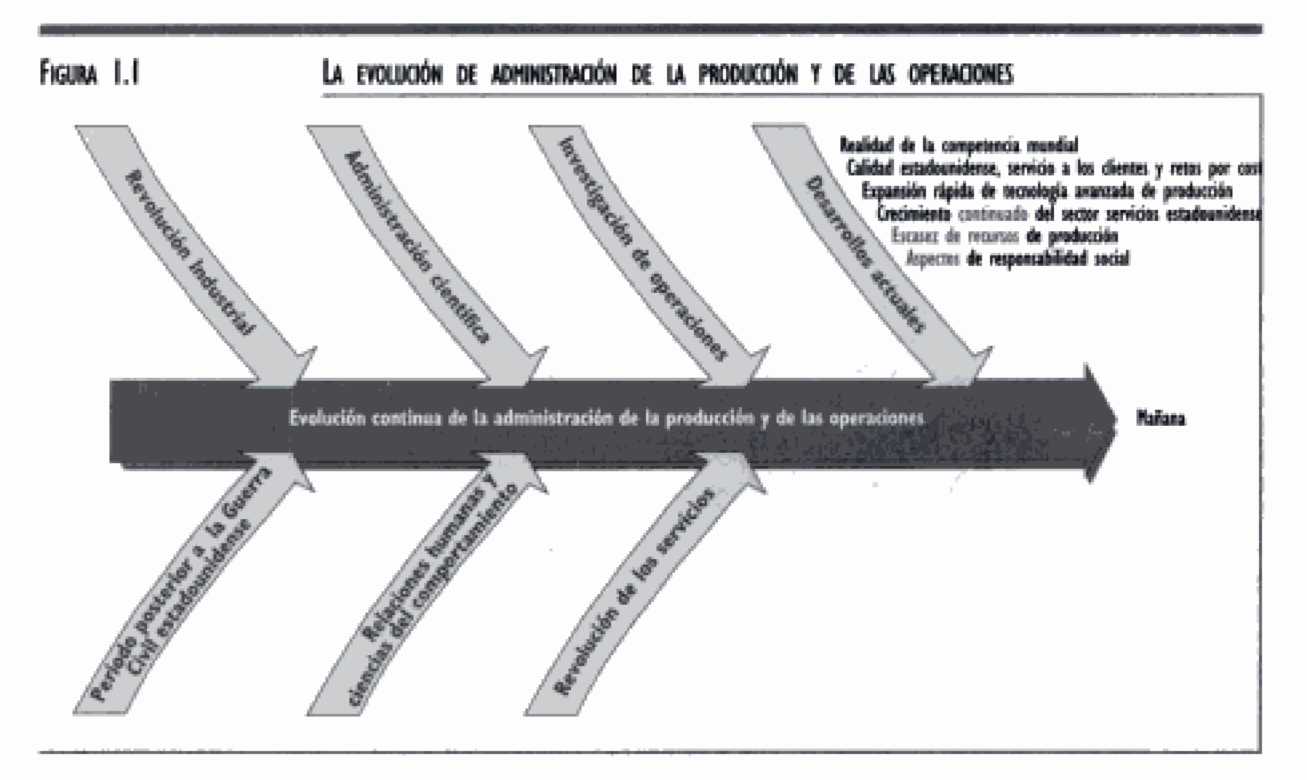
jo cooperativo en equipo entre estas tres funciones principales. Aunque los gerentes de producción, mercadotecnia y finanzas tienen mucho en común, las decisiones que toman pueden ser completamente diferentes. En este estudio sobre la administración de la producción y de las operaciones pondremos particular atención a las decisiones que toman los gerentes de operaciones y la forma en que lo hacen.

Abundan oportunidades profesionales en el campo de la administración de la producción y de las operaciones. La tabla 1.1 ilustra algunos de los puestos de trabajo disponibles hoy día. Estas posiciones pueden llevar a puestos de mayor jerarquía como gerente de manufactura, gerente de operaciones, gerente de planta, gerente de fábrica, gerente de control de la producción, gerente de inventarios, gerente de análisis de producción, gerente de control de calidad y finalmente a puestos ejecutivos, como vicepresidente de manufactura, vicepresidente de administración de materiales, vicepresidente de operaciones, e incluso presidente o director general de operaciones. Grandes empresas, como Wal-Mart, Motorola, Eastman Kodak, General Foods, NationsBank, Johnson & Johnson, Texaco, Trane, Ford, General Electric, Procter & Gamble y muchas menores, se están acercando a las universidades para contratar personas creativas que se inicien en carreras en manufactura y operaciones de servicio.

¿Por qué pudiera usted desear una carrera en la administración de operaciones? A muchos gerentes de operaciones les he preguntado qué les gustaba más sobre sus puestos y han dado respuestas interesantes. La contestación de un gerente de operaciones de Motorola fue particularmente gráfica:

> *En mi puesto, yo estoy ejecutando la tarea más importante del negocio: fabricar los productos para los clientes. Estar involucrado en el proceso de generar los productos y servicios es algo tangible que puedo realizar y puedo comprender. Cada día es interesante, pues existe tal variedad de cosas que hago, desde resolver problemas relacionados con la calidad, hasta instalar un robot, y hay muchísima oportunidad para tratar con las personas, desde proveedores, hasta nuestro personal y los clientes. Después de estar aquí, creo que no sería posible que pudiera manejar un puesto que sólo se ocupara de intangibles como por ejemplo débitos y créditos.*

FIGURA 1.1 LA EVOLUCIÓN DE ADMINISTRACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y DE LAS OPERACIONES



Las razones clave dadas por los gerentes de operaciones para estar satisfechos con su trabajo son tener un trabajo interesante y que presenta un reto, oportunidades de progreso y salarios elevados.

¿De qué manera se califica para una carrera en la administración de la producción y de las operaciones? El primer paso sería comprender las ideas y conceptos de este curso. Un grado universitario en administración de la producción y de las operaciones, o en alguna otra disciplina de negocios, pueden ayudarlo para los programas de capacitación empresariales que llevan a los puestos iniciales de trabajo, y a partir de este punto todo queda en sus manos. ¿Existe en su futuro una carrera emocionante e interesante en la administración de la producción y de las operaciones? Una buena fuente de información sobre puestos en empresas grandes y pequeñas es la *College Edition* del *National Business Employment Weekly: Managing Your Career*, mismo que publica cada otoño el *Wall Street Journal*, Dow Jones & Company.

La administración de la producción y de las operaciones ha evolucionado hasta su forma actual adaptándose a los retos de cada nueva era. La figura 1.1 muestra que actualmente, la administración de la producción y de las operaciones es una interesante mezcla de prácticas provenientes del pasado probadas con el transcurso del tiempo y de una búsqueda de nuevas maneras de administrar sistemas de producción. Este estudio introductorio de la administración de la producción y de las operaciones explorará tanto sus desarrollos históricos como los retos actuales en administración de la producción y de las operaciones.

HITOS HISTÓRICOS EN LA ADMINISTRACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y DE LAS OPERACIONES

Con el fin de examinar su impacto sobre la administración de la producción y de las operaciones, estudiaremos seis desarrollos históricos: la Revolución Industrial, el periodo posterior a la Guerra Civil estadounidense, la administración científica, las relaciones humanas y las ciencias del comportamiento, la investigación de operaciones y la revolución de los servicios.

LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

Siempre han existido sistemas de producción: las pirámides de Egipto, el Partenón griego, la Gran Muralla de China y los acueductos y caminos del Imperio Romano son testigos de la laboriosidad de los pueblos de los tiempos antiguos; sin embargo, la manera en que estos pueblos antiguos pro-

ducían los productos eran bastante distintas a los métodos de producción actuales. Los sistemas de producción anteriores al siglo XVIII a menudo se conocen como el ***sistema artesanal*** o ***rústico***, porque la producción de los productos ocurría en hogares o en locales, donde los artesanos dirigían a aprendices para que hicieran manualmente los productos.

*En Inglaterra, durante el siglo XVIII, ocurrió un desarrollo que identificaremos como la **Revolución Industrial**. Este avance involucró dos elementos principales: la sustitución generalizada de la energía humana e hidráulica por **máquinas**, y el establecimiento del **sistema de fábrica**.* La máquina de vapor, inventada por James Watt en 1764, proporcionó la potencia mecánica para las fábricas y estimuló otras invenciones de esa época. La disponibilidad de la máquina de vapor y de máquinas de producción hizo que fuera práctica la concentración de trabajadores en fábricas, lejos de los ríos. El gran número de trabajadores congregados en fábricas creó la necesidad de organizarlos de manera lógica para la elaboración de productos. La publicación en 1776, por Adam Smith, de *La riqueza de las naciones*, ensalzó los beneficios económicos de la ***división del trabajo***, también conocida como la ***especialización de las tareas***, que dividió la elaboración de los productos en pequeñas tareas especializadas asignadas a los trabajadores a través de las líneas de producción, por lo que las fábricas a fines del siglo XVIII habían desarrollado no sólo maquinaria de producción, sino también maneras de planear y controlar el trabajo de los trabajadores de producción.

La Revolución Industrial se difundió de Inglaterra a otras naciones europeas y a Estados Unidos. En 1790, Eli Whitney, un inventor estadounidense, desarrolló el principio de las ***piezas intercambiables***. Whitney diseñó rifles que deberían fabricarse para el gobierno de Estados Unidos en una línea de ensamble, de manera que las piezas se producían de acuerdo con tolerancias que permitían que cada una de ellas ajustara desde el primer momento. Este método de producción desplazó los antiguos métodos, ya sea de seleccionar las piezas para encontrar aquella que ajustara o de modificarla de manera que ajustara.

La primera industria de importancia en Estados Unidos fue la textil. Cuando la guerra de 1812, había en Nueva Inglaterra casi 200 fábricas textiles. En los años de 1800, la Revolución Industrial avanzó aún más debido al desarrollo del motor de gasolina y de la electricidad. Aparecieron otras industrias y la necesidad de productos para dar apoyo a la Guerra Civil estimuló el establecimiento de más fábricas. Para mediados del siglo XIX, el viejo sistema artesanal de producir los bienes había sido reemplazado por el sistema de fábricas, aunque todavía habrían de llegar grandes mejoras.

Periodo posterior a la Guerra Civil de Estados Unidos

Con la llegada del siglo XX, en Estados Unidos se dio paso a una nueva era industrial. El periodo posterior a la Guerra Civil estableció el escenario para la gran expansión de la capacidad de producción del nuevo siglo. La abolición del trabajo de esclavos, el éxodo de los trabajadores del campo a la ciudad y el flujo masivo de inmigrantes en el periodo de 1865-1900 aportó una gran fuerza de trabajo a los centros industriales urbanos en rápido desarrollo.

El fin de la Guerra Civil fue testigo del principio de las formas modernas del capital mediante el establecimiento de empresas con capital accionario. Este desarrollo llevó a la separación del capitalista y el trabajador, convirtiéndose los gerentes en empleados asalariados de los financieros propietarios del capital. Durante el periodo posterior a la Guerra Civil estadounidense, J. P. Morgan, Jay Gould, Cornelius Vanderbilt y otros formaron imperios industriales. Estos empresarios y la vasta acumulación de capital durante este periodo crearon la gran capacidad de producción estadounidense que creció extraordinariamente al pasar de un siglo al siguiente.

La rápida exploración y colonización del Oeste creó la necesidad de numerosos productos y de una manera de entregarlos a los colonos deseosos de ellos. El periodo posterior a la Guerra Civil vio la creación de las grandes empresas ferroviarias, la segunda gran industria de Estados Unidos. Las vías de ferrocarril se ampliaron; se desarrollaron nuevos territorios y con la llegada del siglo XX, estaba ya en operación un sistema de transporte efectivo y económico y de alcance nacional.

Para 1900, todos estos desarrollos —mayores capitales y capacidades de producción, ampliación de la fuerza de trabajo urbano, nuevos mercados en el Oeste y un sistema eficaz de transporte nacional— establecieron el escenario para la gran explosión de la producción de principios del siglo XX.

TABLA 1.2 ADMINISTRACIÓN CIENTÍFICA: LOS PROTAGONISTAS Y SUS PAPELES

Contribuidor	Periodo de vida	Contribuciones
Frederick Winslow Taylor	1856–1915	Principios de la administración científica, principio de excepción, estudios de tiempos, análisis de métodos, estándares, planeación y control
Frank B. Gilbreth	1868–1934	Estudios de movimientos, métodos, therbligs, contratación de la construcción, consultoría
Lillian M. Gilbreth	1878–1973	Estudios de fatiga, factor humano en el trabajo, selección y capacitación de empleados
Henry L. Gantt	1861–1919	Gráficas de Gantt, sistemas de pago de incentivos, enfoque humanístico al trabajo, capacitación
Carl G. Barth	1860–1939	Análisis matemático, regla de cálculo, estudios de tasas de alimentación y de velocidad, consultoría a la industria automotriz
Harrington Emerson	1885–1931	Principios de eficiencia, ahorros de millones de dólares diarios en ferrocarriles, métodos de control
Morris L. Cooke	1872–1960	Aplicación de la administración científica a la educación y al gobierno

ADMINISTRACIÓN CIENTÍFICA

Los entornos económicos y sociales del nuevo siglo fueron el crisol en el que se formuló la administración científica. El eslabón que faltaba era la administración: la capacidad de desarrollar esta gran máquina de producción para satisfacer los actuales mercados masivos. Un pequeño grupo de ingenieros, ejecutivos de negocios, asesores, educadores e investigadores desarrollaron los métodos y filosofía conocidos como la ***administración científica***. La tabla 1.2 muestra los personajes principales de la era de la administración científica.

Frederick Winslow Taylor es conocido como el padre de la administración científica. Estudió de manera científica los problemas de su tiempo en la fábrica y popularizó el concepto de la eficiencia: la obtención del resultado deseado con un mínimo desperdicio de tiempo, esfuerzo y materiales.

A fines del siglo XVIII, después de asistir a la escuela preparatoria y a un programa para aprendiz de mecánico, Taylor trabajó durante seis años en la Midvale Steel Company en Pennsylvania. Durante estos años, rápidamente progresó de trabajador a maquinista, supervisor, mecánico maestro de mantenimiento y, finalmente, ingeniero en jefe, al mismo tiempo que asistía a la escuela para obtener un título en ingeniería mecánica. Fue durante este tiempo que Taylor se interesó en utilizar la investigación y experimentación científica para mejorar las operaciones de manufactura. En Midvale Steel, sus investigaciones científicas llevaron a mejoras en la eficiencia de los trabajadores que dieron como resultado grandes ahorros en costos por mano de obra.

El ***sistema de taller de Taylor***, un procedimiento sistemático para mejorar la eficiencia del trabajador, empleaba los siguientes pasos:

1. Se determinó la habilidad, fuerza y capacidad de aprendizaje de cada trabajador, de forma que cada uno de ellos pudiera ser ubicado en el puesto más adecuado.
2. Se utilizaron estudios con cronómetro en cada tarea para establecer con precisión un volumen estándar por trabajador. El volumen esperado de cada tarea se utilizó para la planeación y programación del trabajo y para comparar diferentes maneras de ejecutar dichas tareas.
3. Se utilizaron tarjetas de instrucción, secuencias de ruta, y especificaciones de materiales para coordinar y organizar el taller, de forma que se pudieran estandarizar los métodos y el flujo del trabajo y se pudieran cumplir con los estándares de volumen de mano de obra.

4. La supervisión se mejoró mediante una selección y capacitación cuidadosas. Con frecuencia, Taylor indicaba que la administración era negligente al realizar estas funciones. Creía que la administración tenía que aceptar las responsabilidades por la planeación, organización, control y determinación de los métodos, en vez de dejar estas importantes funciones en manos de los trabajadores.
5. Se iniciaron sistemas de pago de incentivos para incrementar la eficiencia y liberar a los supervisores de su responsabilidad ancestral de presionar a los obreros para que trabajaran.

En 1893, Taylor abandonó Midvale para formar una organización privada de consultoría a fin de aplicar su sistema en una gama más amplia de situaciones. Los analistas que siguieron a Taylor fueron conocidos como ***expertos en eficiencia, ingenieros de eficiencia*** y, finalmente, como ***ingenieros industriales***. Además de conocerse como el padre de la administración científica, Taylor es considerado como el padre de la ingeniería industrial.

Los demás pioneros de la administración científica que se listan en la tabla 1.2 se unieron para difundir el credo de la eficiencia. Cada uno de ellos contribuyó con técnicas y procedimientos valiosos que finalmente hicieron que la administración científica se convirtiera en una fuerza poderosa para facilitar la producción en masa.

El apogeo de la administración científica ocurrió en la Ford Motor Company a principios del siglo XX. Henry Ford (1863-1947) diseñó el automóvil Ford Modelo T para que se fabricara en las líneas de ensamble de Ford, que incorporaban los principales elementos de la administración científica: diseño de producto estandarizado, producción en masa, bajos costos de manufactura, líneas de ensamble mecanizadas, especialización de la mano de obra y piezas intercambiables. La Instantánea Industrial 1.1 describe la gigantesca planta Rouge de Ford en los años 20. La tecnología de las líneas de ensamble, refinada hasta llegar a ser una verdadera obra de arte, se incrementó y creció mediante la expansión de la capacidad de producción durante la Segunda Guerra Mundial.

Aunque Ford no inventó muchos de los métodos de producción que utilizó, sí incorporó en sus fábricas, quizás en una mayor medida que cualquier otro líder industrial de su tiempo, lo mejor de entre los eficientes métodos de producción de dicho periodo. De hecho, en gran medida fue responsable de popularizar las líneas de ensamble como *la forma* de producir grandes volúmenes de productos a bajo costo. Ford no sólo se preocupaba por la producción en masa; también se preocupaba por sus trabajadores, a quienes pagaba más que el salario normal de la época, de forma que pudieran tener la posibilidad de adquirir sus automóviles, y estableció "departamentos sociológicos", que fueron los predecesores de los actuales departamentos de recursos humanos. El extracto siguiente del libro de Henry Ford de 1926, *Today and Tomorrow*, describe su visión acerca de la forma en que su enfoque hacia la producción en masa había impactado a la sociedad.

> *Simplemente tomé una idea —una idea por sí misma pequeña— una idea que pudo haber tenido cualquiera, pero recayó sobre mí el desarrollar un automóvil pequeño, fuerte y simple, fabricarlo económicamente y pagar sueldos elevados en su manufactura. El 1 de octubre de 1908, fabricamos el primero de nuestra actual clase de automóviles pequeños. El 4 de junio de 1924, fabricamos el número 10 millones. Hoy, en 1926, hemos llegado a nuestro decimotercer millón.*
>
> *Esto es interesante, pero quizás no sea lo más importante. Lo importante es que, partiendo de un simple grupo de personas empleadas en un taller, hemos crecido para convertirnos en una gran industria que emplea directamente más de 200 mil personas, sin que ninguna de ellas reciba menos de seis dólares diarios. Nuestros distribuidores y estaciones de servicio emplean otras 200 mil personas. Pero de ninguna manera fabricamos todo lo que utilizamos. De manera aproximada, adquirimos dos veces tanto como manufacturamos y podemos decir con seguridad que 200 mil personas están empleadas haciendo trabajo nuestro en otras fábricas. Esto nos da un total aproximado de 600 mil empleados, directos e indirectos, lo que quiere decir que tres millones de hombres, mujeres y niños obtienen su forma de vivir de una sola idea, puesta en práctica hace apenas 18 años. Y esto no toma en consideración el gran número de personas que de una manera u otra ayudan en la distribución o en el mantenimiento de estos automóviles. Y esta idea sólo está en su infancia.*[1]

INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 1.1

ADMINISTRACIÓN CIENTÍFICA EN LA PLANTA ROUGE DE FORD

En 1908, Ford contrató a Walter Flanders, experto en eficiencia industrial, para reorganizar su fábrica para la producción de los automóviles Modelo T. La fábrica se organizó para que operara como "un río y sus afluentes". Cada una de las secciones de la fábrica fue automatizada y acelerada. Las piezas del Modelo T fluían en una producción en línea recta convirtiendo las piezas pequeñas en componentes cada vez más grandes. Empezando por el departamento de ensamble de la bobina, y dispersándose por toda la fábrica hasta el departamento de ensamble final, las piezas y ensambles se transportaban mediante bandas automáticas y cada tarea se subdividió en otras más pequeñas y aceleradas.

Los resultados fueron increíbles. Donde anteriormente se requerían 728 horas-trabajador para ensamblar un Modelo T, ahora sólo se necesitaban 93 minutos. Esta mayor velocidad de la producción redujo de manera importante el costo de cada Modelo T, aumentó el saldo de efectivo de Ford de dos millones a 673 millones de dólares y permitió la reducción del precio del modelo T de 780 a 360 dólares. El mundo jamás había visto nada parecido a esto. Simplemente los automóviles salían por montones de la línea de producción.

En el punto de su madurez a mediados de los años 20, Rouge, ubicado en las afueras de Detroit, empequeñecía a todos los demás complejos industriales. Tenía una longitud de 2.5 kilómetros, y un ancho de 1.2 kilómetros. Sus 445 hectáreas albergaban 93 edificios, 23 de los cuales eran de primera importancia. En ella había 150 kilómetros de vías de ferrocarril y 43 kilómetros de bandas transportadoras. Aproximadamente trabajaban ahí 75,000 personas, 5,000 de las cuales se ocupaban sólo de mantenerla limpia, utilizando 86 toneladas de jabón y desgastando 5,000 trapeadores al mes. Rouge tenía en esa misma ubicación su propio horno de fundición de acero y su planta de vidrio.

Fuente: Halberstam, David, *The Reckoning*, págs. 79-82, 87. New York: Morrow, 1986.

El empuje de la administración científica ocurría en el nivel más bajo de la jerarquía de la organización: en el piso del taller, los trabajadores, los supervisores, los superintendentes y la gerencia media inferior. Los pioneros de la administración científica se concentraron en el nivel del taller, porque en esos días ahí era donde se encontraba la mayoría de los problemas de administración. Lo que se necesitaba era ***producción en masa*** y ***eficiencia*** y al mismo tiempo enfocarse en los detalles de las operaciones. Los métodos de la administración científica llenaban y cumplían con este reto.

RELACIONES HUMANAS Y CIENCIAS DEL COMPORTAMIENTO

Los trabajadores fabriles de la Revolución Industrial no tenían instrucción, no se les daba capacitación, no eran disciplinados y estaban recién salidos de las granjas. Aunque en principio odiaban el trabajo fabril, los puestos en las fábricas eran todo lo que había entre ellos y una muerte por inanición. Los gerentes de fábrica desarrollaron controles rígidos para obligarlos a trabajar duro; la herencia de controles rígidos se mantuvo durante el siglo XIX y principios del XX. Este método de administrar se fundamentaba en el supuesto que los trabajadores tenían que ser colocados en puestos diseñados para asegurar que trabajarían duro y con eficiencia.

Sin embargo, entre la Primera y Segunda guerras mundiales, empezó a aparecer entre los gerentes en Estados Unidos una filosofía que aseguraba que los trabajadores eran seres humanos y que debían ser tratados con dignidad en su puesto. El ***movimiento por las relaciones humanas*** empezó en Illinois en el periodo de 1927 a 1932 con los trabajos de Elton Mayo, F.J. Roethlisberger, T.N. Whitehead y W.J. Dickson en la planta de Hawthorne, Illinois, de Western Electric Company. Estos ***estudios Hawthorne*** fueron iniciados por ingenieros industriales y tenían como finalidad determinar el nivel óptimo de iluminación para la máxima producción de los trabajadores. Cuando la investigación produjo resultados confusos en la correlación entre entorno físico y eficiencia de los trabajadores, los investigadores se dieron cuenta de que existían factores humanos que afectaban la producción. Fue quizás la primera vez que investigadores y gerentes conjuntamente reconocieron que existían factores psicológicos y sociológicos que incidían no sólo en la motivación y la actitud humanas, sino también en la producción.

TABLA 1.3 **CARACTERÍSTICAS DE LA INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES**

1. La investigación de operaciones encara la solución de problemas y la toma de decisiones desde la perspectiva del sistema total.
2. La investigación de operaciones no necesariamente utiliza equipos interdisciplinarios, aunque sea interdisciplinaria; obtiene sus técnicas de ciencias como la biología, la física, la química, las matemáticas y la economía, aplicando las técnicas apropiadas de cada uno de estos campos al sistema en estudio.
3. La investigación de operaciones no experimenta con el sistema en sí, sino que construye un modelo del sistema en el que pueden efectuar experimentos.
4. La construcción de modelos y su manipulación matemática aportan las metodologías que quizás han resultado ser la contribución clave de la investigación de operaciones.
5. El enfoque principal está en la toma de decisiones.
6. Las computadoras se utilizan de manera generalizada.

Estos primeros estudios y experimentos sobre relaciones humanas pronto dieron lugar a una amplia gama de investigaciones sobre el comportamiento de los trabajadores en sus entornos de trabajo. *Los trabajos y publicaciones de Chester Barnard, Abraham Maslow, Frederick Herzberg, Douglas McGregor, Peter Drucker y otros hicieron posible que los gerentes industriales tuvieran una comprensión básica de los trabajadores y sus actitudes hacia su trabajo. Del trabajo de estos* ***especialistas del comportamiento****, como rápidamente fueron conocidos, vino un cambio gradual en la forma en que los gerentes consideraron y trataron a sus empleados.* Todavía ahora seguimos aprendiendo cómo utilizar el gran potencial presente en los trabajadores industriales. Actualmente, el éxito en el entorno industrial mundial depende más que nunca de poder aprovechar las capacidades subutilizadas de los empleados. Por lo tanto, los gerentes de operaciones deben intentar crear un clima organizacional que aliente a los empleados a dedicar su energía, inventiva y destreza en el logro de los objetivos organizacionales.

INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES

La campaña europea en la Segunda Guerra Mundial utilizó enormes cantidades de mano de obra, suministros, aviones, barcos, materiales y otros recursos que tuvieron que desplegarse en un entorno extremadamente turbulento. Quizás nunca antes habían encarado las organizaciones decisiones administrativas de tal complejidad, por lo que en todas las ramas de los servicios militares se formaron equipos de ***investigación de operaciones*** que utilizaron muchas de las disciplinas académicas de la época. Los conceptos de un ***enfoque de sistemas totales*** y de ***equipos interdisciplinarios***, así como la utilización de **técnicas matemáticas complejas**, nacieron como resultado de las condiciones caóticas existentes en las enormes organizaciones militares involucradas en la Segunda Guerra Mundial.

Después de la guerra, los investigadores de las operaciones militares y sus procedimientos regresaron a las universidades, la industria, las oficinas gubernamentales y las firmas de consultoría e introdujeron la investigación de operaciones en los curricula de colegios y universidades, crearon empresas de consultoría especializadas en la investigación de operaciones y formaron sociedades de investigación de operaciones. Con el paso del tiempo, las características de la investigación de operaciones (mostradas en la tabla 1.3) se convirtieron en lo que conocemos hoy.

Durante la era posterior a la guerra, la investigación de operaciones ha sido, y quizá sigue siendo, conocida principalmente por sus técnicas cuantitativas, como la programación lineal, PERT/CPM y los modelos de pronóstico. Conforme las empresas se hacen más grandes y utilizan niveles de tecnología más elevados, la adopción de las técnicas resulta más intensa. La investigación de operaciones ayuda a los gerentes de operaciones a tomar decisiones cuando los problemas son complejos y cuando el costo de una decisión equivocada es elevado y duradero. Problemas como los que siguen se analizan de manera común utilizando técnicas de investigación de operaciones:

1. Una empresa tiene 12 plantas de manufactura que embarcan productos a 48 almacenes en toda la nación. Para maximizar las utilidades, ¿cuántas unidades de cada producto deben ser embarcadas mensualmente desde cada planta a cada almacén?

Estos factores realmente crean una oportunidad y un reto interesante para los gerentes de operaciones y para otros que estudien la administración de la producción y de las operaciones.

DIFERENTES FORMAS DE ESTUDIAR LA ADMINISTRACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y DE LAS OPERACIONES

Durante años, el estudio de la administración de la producción y de las operaciones se ha encarado de muchas maneras. Entre los procedimientos tradicionales, tres han tendido a dominar: producción como un sistema, producción como una función organizacional, y la toma de decisiones en la administración de la producción y de las operaciones.

LA PRODUCCIÓN COMO UN SISTEMA

Russell Ackoff, pionero en la teoría de los sistemas, describe un **sistema** como: "*un todo que no puede subdividirse sin perder sus características esenciales, y por lo tanto debe estudiarse como un todo. Ahora, en vez de explicar un todo en función de sus partes, las partes empezaron a ser explicadas en función del todo*".[3] Los conceptos provenientes del campo de la teoría de los sistemas resultan útiles para comprender la producción como un sistema.

Un **sistema de producción** recibe **insumos** en forma de materiales, personal, capital, servicios e información. Estos insumos son transformados en un **subsistema de conversión** en los productos y servicios deseados, que se conocen como **productos**. Una porción del producto resultante es vigilada por el **subsistema de control** para determinar si es aceptable en términos de cantidad, costo y calidad. Si el resultado es aceptable, no se requieren cambios en el sistema; si el resultado no es aceptable, se requiere de una acción administrativa correctiva. El subsistema de control asegura el desempeño del sistema al brindar retroalimentación de forma que los gerentes puedan tomar acciones correctivas.

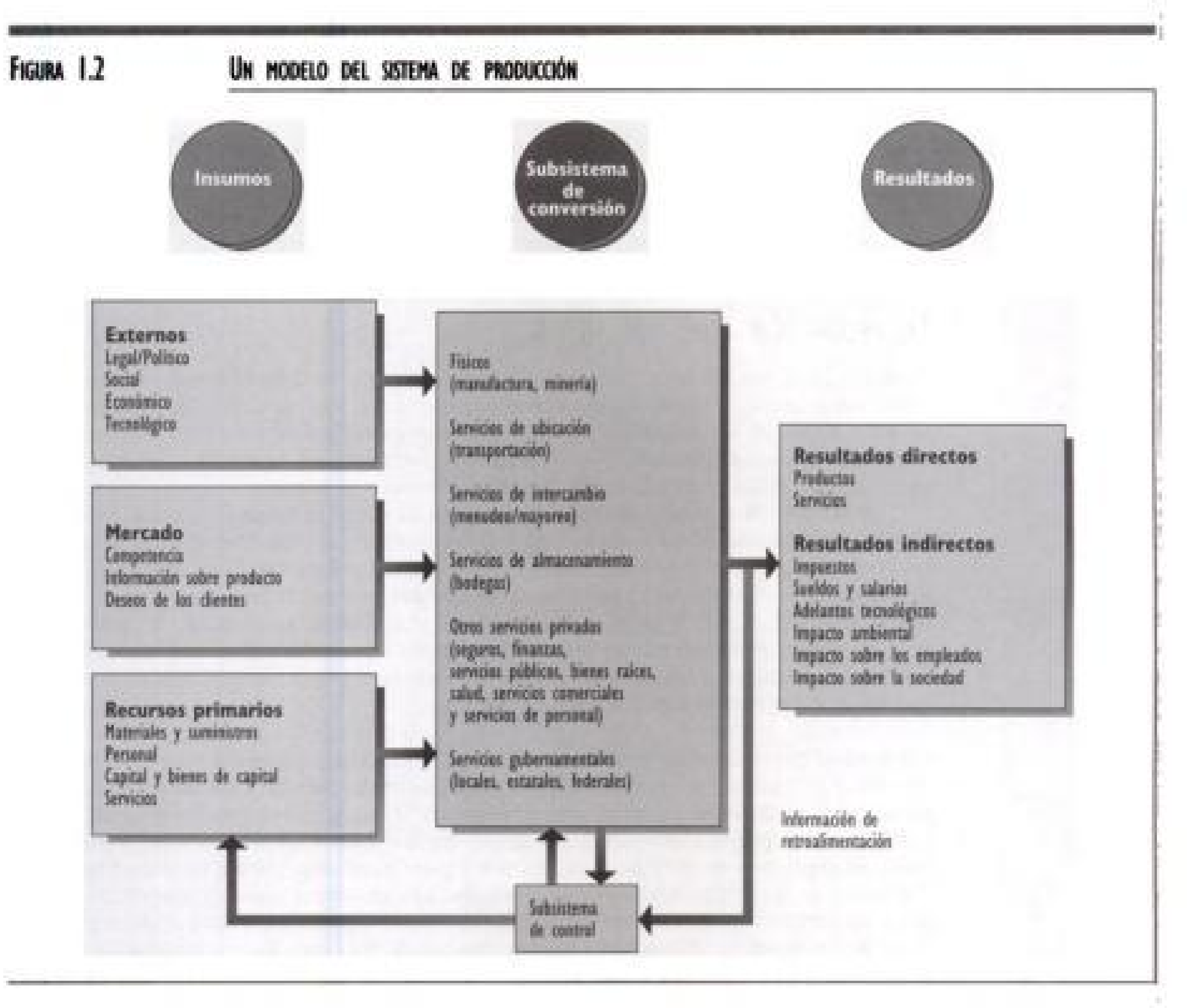
Un modelo del sistema de producción La figura 1.2 ilustra un modelo del sistema de producción. Los insumos se clasifican en tres clases generales: recursos externos, de mercado y primarios. Los **insumos externos** generalmente son de carácter informativo y tienden a proporcionar a los gerentes de operaciones conocimientos relativos a las condiciones imperantes fuera del sistema de producción. Los insumos legales o políticos pueden establecer restricciones dentro de las cuales deberá operar el sistema. Los insumos sociales y económicos permiten a los gerentes de operaciones detectar tendencias que pudieran afectar al sistema de producción. Los insumos tecnológicos pueden provenir de publicaciones especializadas, reportes gubernamentales, boletines comerciales, proveedores y otras fuentes. Esta información pone a los gerentes al tanto de adelantos importantes en tecnología que afectan a la maquinaria, a las herramientas o a los procesos.

Igual que los insumos externos, los **insumos de mercado** tienden a ser de carácter informativo. La información relativa a la competencia, al diseño de los productos, a los deseos de los clientes y a otros aspectos del mercado es esencial, si es que el sistema de producción ha de responder a las necesidades del mercado. Los insumos que apoyan de manera directa a la producción y entrega de bienes y servicios, se conocen como **recursos primarios**. Son los materiales y suministros, el personal, el capital y los bienes de capital, y los servicios (agua, gas, petróleo, carbón, electricidad).

Los **productos directos** de los sistemas de producción por lo general se presentan en dos formas, tangibles e intangibles. Todos los días se produce un abanico enorme de **bienes** o **productos tangibles**: automóviles, secadoras de pelo, palillos de dientes, calculadoras, ligas, ropa, tractores, pasteles, máquinas de escribir y jabón. De manera similar, los servicios —los **productos intangibles** que salen de los sistemas de producción— parecerían no tener fin: educación, recolección de basura, cortes de pelo, contabilidad fiscal, hospitales, oficinas gubernamentales, banca, seguros, alojamiento y transporte.

De manera interesante, a menudo pasamos por alto los **productos** o **resultados indirectos** de los sistemas de producción. Los impuestos, el desperdicio y la contaminación, los adelantos tecnológicos, los sueldos y salarios, y las actividades que afectan a la comunidad son ejemplos de resultados indirectos. A pesar de que no reciban la misma atención que los productos de bienes y servicios generadores de los ingresos que perpetúan a los sistemas, los resultados indirectos son una causa tanto de preocupación como de orgullo. La concientización de que estos factores son resultados de los sistemas de producción hace que los gerentes de operaciones lleven a cabo sus tareas de una manera más efectiva.

FIGURA 1.2 UN MODELO DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN



Diversidad del sistema de producción Todas las organizaciones tienen por lo menos un sistema de producción. Existe una amplia variedad de estos sistemas, varios ejemplos de los cuales aparecen en la tabla 1.5. La forma en que se manifiesta un sistema de producción como parte de una organización difiere de manera considerable de una firma a otra. Examinemos algunos esquemas organizacionales para estas funciones de producción.

LA PRODUCCIÓN COMO UNA FUNCIÓN ORGANIZACIONAL

El núcleo central de un sistema de producción es su subsistema de conversión, mediante el cual los trabajadores, materiales y máquinas se utilizan para convertir los insumos en productos y servicios. *El proceso de conversión está en el centro de la administración de la producción y de las operaciones y de alguna manera está presente en toda organización.* El lugar donde se realiza este proceso de conversión y de la manera en que se identifique el departamento o función en el que queda localizado varía muy ampliamente de una a otra organización.

La tabla 1.6 compara los puestos y nombres de los departamentos de la función de producción de tres empresas de diferente tipo. Esta tabla muestra los nombres típicos dados a los puestos de línea y de apoyo dentro de la función de producción, el nombre del departamento donde está alojada la función de producción y los puestos en otros departamentos que también forman parte del sistema de producción, pero que no están directamente asignados a la función de producción. Observe que servicios tales como minoristas y transportación tienden a utilizar la palabra *operaciones* más que *producción* como nombre para el departamento de la función



Los recursos primarios, una de las formas de insumo que recibe un sistema de producción, incluyen a los servicios públicos como el agua que está ensayando este trabajador de una planta generadora de energía geotérmica.

productiva, y también que los tipos de puestos que se consideran como de línea dependen del objetivo de la organización.

Al principio de este capítulo se dijo que la administración de la producción y de las operaciones se originó como protagonista central en la lucha para hacer que las empresas estadounidenses fueran competitivas con las empresas del extranjero. Existe el consenso de que en el mundo actual, caracterizado por la competencia global y la expansión tecnológica, las empresas no pueden competir sólo con base en mercadotecnia, finanzas, contabilidad e ingeniería. Cuando pensamos en la competitividad global, es necesario enfocarse cada vez más en la administración de la producción y de las operaciones, porque ahí es donde se utiliza la mayoría de los trabajadores activos, de los bienes de capital y de los gastos de una empresa, y es en la administración de la producción y de las operaciones donde está la capacidad de producir productos y servicios a bajo costo, de calidad superior y de manera oportuna. Necesitamos nuevos productos, una mercadotecnia competente y finanzas audaces, pero también debemos tener una poderosa función de operaciones trabajando en equipo con las demás funciones de la organización, si es que hemos de tener éxito en la competencia internacional.

Veamos ahora otra forma de estudiar la administración de la producción y de las operaciones: la toma de decisiones de los gerentes de operaciones.

TOMA DE DECISIONES EN LA ADMINISTRACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y DE LAS OPERACIONES

Antes en este capítulo definimos la administración de la producción y de las operaciones en función de lo que hacen los gerentes de operaciones: administran todas las actividades del sistema de producción que convierte los insumos en los productos y servicios de la organización. Esta definición dice en términos muy generales *lo que* la administración de la producción y de las operaciones hace, pero para comprender la administración de la producción y de las operaciones pudiera ser de mayor importancia *la forma en que* administran los gerentes de operaciones. *Quizás ningún otro procedimiento nos ayuda a comprender la manera en que los gerentes de operaciones administran como el análisis de las decisiones tomadas en la administración de la producción y de las operaciones, ya que la mayoría de los gerentes de operaciones administran tomando decisiones relacionadas con todas las actividades de los sistemas de producción.*

Decisiones estratégicas, de operación y de control Es difícil clasificar las decisiones de la administración de la producción y de las operaciones, pero en mi experiencia como gerente de operaciones, las decisiones tienden a agruparse en tres categorías generales:

- **Decisiones estratégicas:** Decisiones respecto a los productos, procesos e instalaciones. Son de importancia estratégica y para la organización tienen significado a largo plazo.

TABLA 1.5 **ALGUNOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN TÍPICOS**

Sistema de producción	Insumos principales	Subsistema de conversión	Productos o resultados
Fábrica de alimento para mascotas	Granos, agua, harina de pescado, personal, máquinas, herramientas, bolsas de papel, latas, edificios, servicios públicos	Convierte materias primas en productos terminados (físicos)	Productos para mascotas
Puesto de hamburguesas	Carne, pan, vegetales, especias, suministros, personal, servicios públicos, servilletas, edificios, clientes hambrientos	Convierte materias primas en productos y empaques para comida rápida (físicos)	Clientes satisfechos y productos de comida rápida
Fábrica de automóviles	Componentes adquiridos, materias primas, suministros, pinturas, herramientas, equipo, personal, edificios, servicios públicos	Convierte materias primas en automóviles terminados mediante operaciones de fabricación y ensamble (físico)	Automóviles
Firma de autotransportes	Autotransportes, personal, edificios, combustible, bienes a transportar, suministros para empaque, refacciones para autotransportes, servicios públicos	Empaca y transporta bienes desde lugares de origen a sus destinos (ubicación)	Bienes entregados
Tienda de departamentos	Edificios, exhibidores, carritos de compra, máquinas, inventario de bienes, personal, suministros, servicios públicos, clientes	Atrae clientes, almacena bienes, vende productos (intercambio)	Bienes comercializados
Empresa de auditoría	Suministros, personal, información, computadoras, edificios, mobiliario de oficina, máquinas, servicios públicos	Atrae clientes, acumula datos, proporciona información administrativa, calcula impuestos (servicio privado)	Información gerencial, servicios fiscales y declaraciones financieras auditadas
Taller de hojalatería automotriz	Automóviles dañados, pinturas, suministros, máquinas, herramientas, edificios, personal, servicios públicos	Transforma carrocerías de automóvil dañadas en réplicas de los originales (servicio privado)	Carrocerías automotrices reparadas
Colegio o universidad	Estudiantes, libros, suministros, personal, edificios, servicios públicos	Transmite información y desarrolla habilidades y conocimientos (servicio privado/público)	Personas educadas
Departamento de policía	Suministros, personal, equipo, automóviles, mobiliario de oficina, edificios, servicios públicos	Detecta crímenes, lleva a los criminales ante la justicia, mantiene el orden (servicio público)	Tasas aceptables de crimen y comunidades pacíficas
Servicio de vigilancia pesquera	Suministros, personal, barcos, computadoras, aeronaves, servicios públicos, mobiliario de oficina, equipo	Detecta transgresores de leyes federales sobre pesca, los lleva ante la justicia y conserva los recursos de pesca (servicio público)	Existencia óptima de recursos de pesca

TABLA 1.6 FUNCIONES Y PUESTOS DE PRODUCCIÓN Y DE OPERACIONES EN DIVERSAS ORGANIZACIONES

Tipo de empresa	Departamentos y puestos de la función de producción: Algunos puestos de línea	Departamentos y puestos de la función de producción: Algunos puestos de apoyo	Nombre del departamento en la función de producción	Algunas actividades de sistema de producción en otros departamentos (puesto-departamento)
Manufacturera	Vicepresidente de manufactura Gerente de planta Gerente de producción Superintendente Supervisor o capataz Jefe de equipo Jefe de cuadrilla	Ingeniero de manufactura Ingeniero industrial Gerente de control de calidad Ingeniero de control de calidad Gerente de materiales Analista de inventarios Programador de producción	Manufactura	Agente de compras: compras Comprador: compras Especialista de personal: personal Diseñador de producto: comercialización ingeniería Analista de presupuestos: contabilidad Especialista de embarques: embarques
Minorista	Vicepresidente de operaciones Gerente de tienda Gerente de operaciones Supervisor departamental Oficinista de ventas Oficinista de almacén	Gerente de servicio al cliente Gerente de seguridad Gerente de mantenimiento Especialista de suministros Gerente de almacén	Operaciones	Agente de compras: comercialización Comprador: mercadeo Analista de control de mercancías: comercialización Analista presupuestal: contabilidad Inspector: mercadeo
Transportación	Propietario Vicepresidente de operaciones Gerente de sucursal Supervisor de embarques Gerente de operaciones de camiones Chofer Trabajador de plataforma	Especialista de tarifas Director de mantenimiento Programador de camiones Mecánico en reparaciones Despachador	Operaciones	Gerente de personal: personal Gerente de tiendas: servicios administrativos Analista presupuestal: contabilidad Analista de sistemas: contabilidad Gerente de compras: servicios administrativos

- **Decisiones operativas**: Decisiones respecto a la planeación de la producción para cumplir con la demanda. Son necesarias si la producción en marcha de bienes y servicios ha de satisfacer la demanda del mercado y proporcionar utilidad a la empresa.
- **Decisiones de control**: Decisiones sobre la planeación y el control de las operaciones. Se refieren a las actividades cotidianas de los trabajadores, a la calidad de los productos y servicios, a los costos de producción y generales, y al mantenimiento de la maquinaria.

Las **decisiones estratégicas** afectan las estrategias de las operaciones y del plan de acción a largo plazo de la empresa. Estas decisiones son de tal importancia que generalmente el personal de producción, ingeniería, mercadotecnia y finanzas se reúnen para estudiar con cuidado las oportunidades del negocio y llegar a una decisión que coloque a la organización en la mejor posición posible para lograr conseguir sus metas a largo plazo. Ejemplos de este tipo de decisiones de planeación son:

- Decidir si se lanza un proyecto de desarrollo de nuevo producto
- Decidir sobre el diseño de un proceso de producción para un nuevo producto
- Decidir la manera de asignar materias primas, servicios, capacidad de producción y personal escasos entre oportunidades comerciales nuevas y existentes
- Decidir qué fábricas nuevas se necesitan y dónde ubicarlas

Las **decisiones de operación** deben resolver todos los problemas que se refieren a la planeación de la producción para poder cumplir con las demandas de los clientes de productos y servicios. La responsabilidad principal de las operaciones es recibir las órdenes de productos y servicios de los clientes, generadas por la función de comercialización, y entregar productos y servicios de forma que existan *clientes satisfechos* a un costo razonable. Durante el descargo de esta responsabilidad, se toman gran cantidad de decisiones. Ejemplos de este tipo de decisiones son:

- Decidir qué inventario de bienes terminados mantener para cada uno de los productos
- Decidir qué productos y cuántos de cada uno de ellos deben incluirse en el programa de producción del próximo mes

TABLA 1.7 MARCO CONCEPTUAL DE ESTE LIBRO EN FUNCIÓN DE DECISIONES EN LA ADMINISTRACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y DE LAS OPERACIONES

Tipo de decisión	Capítulo	Naturaleza del contenido del capítulo
Parte II Decisiones estratégicas: Planeación de productos, procesos, tecnologías e instalaciones	4. Productos y procesos de producción	Desarrollo de planes a largo plazo, incluyendo planes de producto y diseño de los procesos
	5. Tecnología de la producción	Selección y administración de la tecnología de la producción
	6. Asignación de recursos para alternativas estratégicas	Planeación para la distribución óptima de recursos escasos entre líneas de productos o unidades de negocio
	7. Planeación de la capacidad a largo plazo y ubicación de instalaciones	Responder preguntas de *cuánto* y *dónde* en lo que se refiere a la capacidad de producción a largo plazo
	8. Disposición física de las instalaciones	Planeación y organización de las instalaciones
Parte III Decisiones de operación: Planeación de la producción para cumplir con la demanda	9. Sistemas de planeación de la producción	Planeación agregada y programación maestra de la producción
	10. Sistemas de inventarios independientes de la demanda	Planeación y control de los inventarios de productos terminados
	11. Sistemas de planeación de necesidades de recursos	Planeación de los requerimientos de materiales y de capacidad
	12. Planeación y control en el piso de la fábrica	Decisiones a corto plazo sobre qué producir y cuándo producirlo en cada uno de los centros de trabajo
	13. Planeación y programación de operaciones de servicio	Decisiones sobre la planeación y el control de la producción de servicios
	14. Manufactura Justo a Tiempo (JIT)	Decisiones sobre la planeación y operación de los sistemas de manufactura Justo a Tiempo
	15. Administración de la cadena de suministros	Administración de todas las facetas del sistema de materiales
Parte IV Decisiones de control: Planeación y control de las operaciones	16. Productividad y empleados	Planeación para el uso efectivo y eficiente de los recursos humanos en las operaciones
	17. Administración de la calidad	Planeación del sistema para la calidad de productos y servicios
	18. Control de calidad	Control estadístico de la calidad
	19. Planeación y control de proyectos	Planeación y control de los proyectos
	20. Administración y confiabilidad del mantenimiento	Planeación para el mantenimiento de máquinas e instalaciones de producción

- Decidir si en el departamento de fundición se debe incrementar la capacidad de producción del mes siguiente haciendo que se trabaje tiempo extra o subcontratando parte de la producción a proveedores
- Decidir sobre los detalles de un plan para la adquisición de las materias primas con la finalidad de apoyar el programa de producción del mes siguiente

Estas decisiones son fundamentales para el éxito de la función de la producción y de toda la organización.

Las **decisiones de control** se preocupan de una diversidad de problemas en las operaciones. La realidad para los gerentes de operaciones es que sus trabajadores no siempre se desempeñan como se espera, la calidad de los productos puede variar y la maquinaria de producción puede descomponerse y por lo general lo hace cuando menos se espera. Los gerentes de operaciones se ocupan de la planeación, análisis y control de las actividades, de manera que un mal desempeño de los trabajadores, una calidad inferior de los productos y descomposturas excesivas de las máquinas no interfieran con una operación rentable del sistema de producción. Ejemplos de este tipo de decisión son:

- Decidir qué hacer ante la falla de un departamento en el cumplimiento de la meta planeada de costo por mano de obra
- Desarrollar estándares de costo de mano de obra para un diseño revisado del producto a punto de entrar en producción
- Decidir cuál debería ser el nuevo criterio de aceptación de control de calidad para un producto que ha sufrido una modificación en su diseño

- Decidir la frecuencia en que debe efectuarse mantenimiento preventivo en una pieza clave de la maquinaria de producción

Las decisiones cotidianas respecto a trabajadores, calidad del producto y maquinaria de producción, cuando se toman en su conjunto, pueden resultar el aspecto más agobiante de la tarea del gerente de operaciones.

Marco basado en decisiones de este libro Este libro se organiza con base en el marco general siguiente: **decisiones estratégicas**: planeación de productos, procesos e instalaciones; **decisiones de operación**: planeación de la producción para cumplir con la demanda, y **decisiones de control**: planeación y control de las operaciones. La Tabla 1.7 muestra el resto del libro en función a esta estructura.

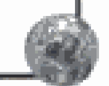
Recopilación

Lo que hacen los productores de clase mundial

En este capítulo hemos analizado la aparición de la administración de la producción y de las operaciones, hemos definido la administración de la producción y de las operaciones, hemos analizado los desarrollos históricos y contemporáneos en la administración de la producción y de las operaciones y hemos presentado tres maneras diferentes de estudiarlo. La Revolución Industrial, el periodo posterior a la Guerra Civil de Estados Unidos, la administración científica, las relaciones humanas y las ciencias del comportamiento, la investigación de operaciones y la revolución de los servicios representan desarrollos históricos de importancia en la administración de la producción y de las operaciones. En la actualidad, la competencia mundial, las computadoras y las tecnologías de producción avanzadas, así como los aspectos de responsabilidad social, representan los retos a la administración de la producción y de las operaciones y están dando forma a la naturaleza de los sistemas de producción del futuro.

Hay tres maneras básicas de estudiar la administración de la producción y de las operaciones: la producción como un sistema, la producción como una función de la organización y la toma de decisiones en la administración de la producción y de las operaciones. Los sistemas de producción convierten los insumos, como materiales, mano de obra, capital y servicios en productos o resultados, que son los productos y servicios de la organización. La comprensión del concepto de sistema (insumos, subsistemas de conversión y productos) nos conduce a una mejor administración de los mismos. El estudio de la producción como una función de la organización nos ayuda a identificar la actividad de conversión en una diversidad de organizaciones. En todas ellas, independientemente de su finalidad, existen funciones de producción: departamentos en los que realmente ocurre el proceso de conversión. El estudio de la toma de decisiones en la administración de la producción y de las operaciones muestra la forma en que los gerentes de operaciones se comportan en sus puestos. El análisis de las decisiones estratégicas (la planeación de productos, procesos e instalaciones), las decisiones de operación (procesos de producción para cumplir con la demanda) y las decisiones de control (la planeación del control de las operaciones) se ha descrito como una manera útil de concebir la toma de decisiones en la administración de la producción y de las operaciones.

Conforme avancemos en los capítulos de este libro, será importante comprender lo que las empresas mejor administradas del mundo están haciendo en relación con sus competidores. Llamamos a estas empresas ***productores de clase mundial.*** *Al enfocarnos en ellos, obtendremos el discernimiento sobre los procedimientos más avanzados para estructurar, analizar y administrar los sistemas de producción. Para ayudarnos en esta tarea, conforme terminemos cada uno de los capítulos de este libro, presentaremos las ideas más avanzadas sobre los temas analizados en el capítulo en una sola sección,* ***Recopilación: Lo que hacen los productores de clase mundial.*** *Este resumen permitirá una completa integración de la manera de pensar más moderna sobre los importantes problemas que encaran hoy los gerentes de operaciones.*

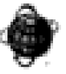


Preguntas de repaso y de análisis

1. Defina la *administración de la producción y de las operaciones*.
2. Nombre y describa tres puestos básicos en la administración de la producción y de las operaciones. ¿Cuáles son los pros y los contras de una carrera en administración de la producción y de las operaciones?
3. ¿Qué fue la Revolución Industrial? ¿Cuándo ocurrió?
4. ¿Qué papel desempeñó la colonización del Oeste de Estados Unidos en el desarrollo de fábricas en el periodo posterior a la Guerra Civil?
5. Describa el procedimiento de Frederick Winslow Taylor para la administración de talleres.

6. ¿Quiénes fueron los pioneros de mayor importancia en la administración científica y cuáles fueron sus contribuciones?
7. ¿Cuál fue el método utilizado por Henry Ford para la producción en masa?
8. ¿Quiénes fueron los investigadores de los *estudios Hawthorne*? Explique el impacto de las relaciones humanas y de las ciencias del comportamiento en los actuales sistemas de producción.
9. ¿Cuáles son las características de la investigación de operaciones?
10. ¿Hasta qué grado se utilizan hoy las técnicas de investigación de operaciones en las organizaciones comerciales?
11. Explique lo que quiere decir *revolución de los servicios*. Mencione cinco industrias de servicios. ¿Qué porcentaje aproximado del empleo estadounidense y del producto interno bruto se origina en el sector de servicios?
12. ¿Cuáles son hoy los factores de mayor importancia que afectan a la administración de la producción y de las operaciones?
13. Defina *sistema de producción*. ¿De qué manera ayuda la idea de un sistema de producción en la comprensión de la administración de la producción y de las operaciones?
14. ¿Cuáles son los insumos al sistema de producción? ¿De qué manera pueden clasificarse?
15. Defina *subsistemas de conversión*. ¿De qué manera se pueden clasificar?
16. ¿Cuáles son los productos o resultados de los sistemas de producción?
17. Defina *subsistemas de control*. ¿Los tienen todas las organizaciones? Describa algunos de ellos. ¿Qué es lo que controlan?
18. Describa los insumos primarios, los productos y los subsistemas de conversión de las organizaciones siguientes: a) tintorería, b) fábrica de computadoras, c) clínica médica, d) estación de bomberos, e) oficina pública de empleo.
19. Nombre dos organizaciones que no tengan funciones de producción. Defienda su respuesta.
20. ¿Cuáles son los nombres de los puestos altos de los gerentes de operaciones en una empresa minorista y en una empresa de manufactura? Compare y contraste la naturaleza de estos puestos.
21. Defina *decisión estratégica*. Dé un ejemplo de una decisión estratégica para: a) un minorista, b) un fabricante, y c) una oficina gubernamental.
22. Defina *decisión de operación*. Dé un ejemplo de una decisión de operación para: a) un centro de cómputo, b) una universidad, y c) un fabricante.
23. Defina *decisión de control*. Dé un ejemplo de una decisión de control para: a) un museo, b) un barco, y c) un puesto de hot dogs.
24. Defina *productor de clase mundial*.

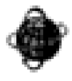
TAREAS EN INTERNET



1. Más y más empresas están colocando ofertas de trabajo en sus páginas de World Wide Web. En Internet, encuentre dos empresas que tengan listados de puestos básicos relacionados con la función de producción y de la administración de operaciones. Imprima la página Web que muestre listados relevantes de puestos e incluya la dirección del sitio Web de la empresa.



2. En Internet, visite el sitio WWW de la revista *Fortune* (**www.fortune.com**) y localice las páginas Web de Fortune 500. Encuentre tres empresas de servicio no listadas en la Tabla 1.4. ¿En qué clase de industria está cada una de estas empresas y cuál es la clasificación actual de *Fortune* para cada una de ellas?



3. El Institute for Operations Research and Management Sciences (INFORMS) es una organización profesional para personal de la industria y académicos interesados en la investigación de operaciones. Visite el sitio WWW de este grupo (**www.informs.org**) y localice las páginas Web de su publicación *OR/MS Today*. Encuentre y resuma brevemente uno de los artículos en línea de esta publicación.

NOTAS FINALES

1. Ford, Henry, *Today and Tomorrow*, págs. 1-2. Londres: William Heinemann, Ltd, 1926.
2. Sibbet, David. "75 Years of Management Ideas and Practice, 1922-1997." Suplemento del *Harvard Business Review* 75 (septiembre-octubre 1997).
3. Ackoff, Russell L. "A Note on Systems Science." *Interfaces* 2 (agosto 1972): 40.

BIBLIOGRAFÍA SELECCIONADA

Ackoff, Russell L. "A Note on Systems Science." *Interfaces* 2 (agosto 1972): 40.

Andrew, C.G., et al. "The Critical Importance of Production and Operations Management." *Academy of Management Review* 7 (enero 1982): 143-147.

Buffa, Elwood S. *Meeting the Competitive Challenge*, Homewood, IL: Dow Jones-Irwin, 1984, 93-94.

Chase, Richard B. y Eric L. Prentis. "Operations Management: A Field Rediscovered." *Journal of Management* 13, no. 2 (octubre 1987): 351-366.

Copely, F.B., *Frederick W. Taylor*, vol. 2. Nueva York: Harper, 1923.

Drucker, Peter F., Esther Dyson, Charles Handy, Paul Saffo y Peter M. Senge. "Looking Ahead: Implications of the Present." *Harvard Business Review* 75 (septiembre-octubre 1997): 18-32.

Etienne-Hamilton, E.C. *Managing World-Class Service Business*. Cincinnati, OH: South-Western College Publishing, 1998.

Ford, Henry. *Today and Tomorrow*. Londres: William Heinemann, Ltd., 1926.

Halberstam, David. *The Reckoning*. Nueva York: Morrow, 1986.

Hillier, Frederick S. y Gerald J. Lieberman. *Introduction to Operations Research*. Nueva York: McGraw-Hill, 1995.

McClosky, Joseph F. y Florence N. Trefethen. *Operations Research for Management*. Baltimore: Johns Hopkins press, 1954.

Schmenner, Roger W. *Service Operations Management*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1995.

Schonberger, Richard J. *World Class Manufacturing*. Nueva York: The Free Press, 1986.

Schonberger, Richard J. *World Class Manufacturing: The Next Decade*. Nueva York: The Free Press, 1996.

Skinner, Wickham, "What Matters to Manufacturing." *Harvard Business Review* (enero-febrero 1988): 10.

Taylor, Frederick Winslow. *Shop Management*. Nueva York: Harper, 1911.

———. *The Principles of Scientific Management*. Nueva York: Harper, 1923.

Witt, Chris, y Alan Muhlemann. *Service Operations Management: Strategy, Design and Delivery*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1997.

Capítulo 2

Estrategia de las operaciones Utilización de la calidad, del costo y el servicio como armas competitivas



Introducción

Condiciones actuales de los negocios globales
Realidad de la competencia global
Naturaleza cambiante de los negocios en el mundo
• Compañías internacionales • Alianzas estratégicas y producción compartida • Fluctuación de las condiciones financieras internacionales
Retos estadounidenses respecto a calidad, servicio al cliente y costo
Tecnología avanzada de producción
Crecimiento continuado del sector de servicios
Escasez de los recursos de producción
Aspectos relacionados con la responsabilidad social
Impacto ambiental • Impacto sobre los empleados

Estrategia de las operaciones
Prioridades competitivas de la producción
Elementos de la estrategia de operaciones
Posicionamiento del sistema de producción • Enfoque de la producción • Planes de productos/servicios • Procesos de producción y planes de tecnología • Asignación de recursos a alternativas estratégicas • Planes de las instalaciones: capacidad, ubicación y disposición física
Estrategia de las operaciones en los servicios
Características de los servicios y de los productos manufacturados • Prioridades competitivas para los servicios • Estrategias de posicionamiento para los servicios

Formulación de las estrategias de las operaciones
Evolución de las estrategias de posicionamiento
Vinculación de las estrategias de las operaciones y de mercadotecnia
La diversidad de estrategias puede tener éxito

Competitividad de los fabricantes estadounidenses

Recopilación: Lo que hacen los productores de clase mundial

Preguntas de repaso y análisis

Tareas en Internet

Casos
Estrategia de las operaciones de CSI en Europa

Notas finales

Bibliografía seleccionada

Estrategias en Dell y en el Servicio Postal Estadounidense

Toda organización necesita un plan que describa la forma en que logrará sus metas empresariales y en que competirá con éxito en busca de clientes. Aunque Dell Computers y el Servicio Postal Estadounidense son organizaciones muy diferentes, note en las citas que siguen provenientes de sus sitios Web, la forma en que ambos manifiestan un fuerte enfoque hacia la satisfacción del cliente.

Dell Computer Corporation fue fundada en 1984 con un intrépido plan: hacer llegar las computadoras adecuadas directamente a nuestros clientes al precio más bajo posible. Hacer los negocios directamente consigue algo más que reducir los precios al eliminar los sobreprecios del revendedor: añade una relación sin precedentes entre cliente y fabricante, una relación que se extiende a través del ciclo completo de vida del producto. Independientemente de si está adquiriendo un sistema de cómputo para usted mismo, para su empresa o para su organización, Dell le ofrece una solución personal que cumple con sus necesidades. Cada computadora se fabrica según sus especificaciones y durante toda su vida tiene el apoyo de un excelente servicio.[1]

Mediante la integración efectiva de todas las operaciones, Dell pone énfasis en la satisfacción del cliente. Utilizando investigación y desarrollo en cooperación, la empresa se beneficia de las experiencias de sus principales socios tecnológicos. Los socios de Dell se benefician con la retroalimentación recibida de las ventas y de los grupos de apoyo técnico, así como de los cientos de miles de llamadas que Dell recibe diariamente. Una filosofía empresarial de fabricar sobre pedido combina un conocimiento profundo de la demanda del cliente con lo más avanzado en tecnología. La infinitamente flexible estructura de manufactura de Dell y superior administración de inventarios permite a la empresa llenar con rapidez pedidos únicos de los clientes de cualquier tamaño y complejidad.

Dell cree que ningún otro procedimiento es más adecuado para comprender y cumplir las necesidades de diferentes segmentos de clientes que este modelo empresarial de relaciones directas. La empresa continuará trabajando para asegurar su posición entre los líderes de la industria a través de sus relaciones directas con los clientes, su estrategia de distribución comprobada y su enfoque hacia una operación eficiente.[2]

****

Las metas fundamentales del Servicio Postal de Estados Unidos son satisfacer al cliente, mejorar la eficacia de los empleados y de la organización, y aumentar el desempeño financiero. El Servicio Postal tendrá como función básica la obligación de proporcionar servicios postales para enlazar la nación a través de la correspondencia personal, educacional, literaria y comercial de las personas. Proporcionará servicios rápidos, confiables y eficientes a todos los usuarios en todas las áreas y lo hará en todas las comunidades.

Somos el Servicio Postal de Estados Unidos; nuestra meta es convertirnos en un proveedor de primera clase de comunicaciones postales del siglo XXI al entregar productos y servicios postales de calidad tal que se reconozcan como los de mayor valor en América. Crecer a través de la creación de valor es una elección explícita que exige disciplina, prioridades y el enfoque hacia las necesidades de los clientes. El principio de crecimiento está impulsado por cuatro estrategias centrales: compromiso a la excelencia del servicio al cliente; una agresiva administración de costos; convertirse en una empresa del siglo XXI en crecimiento; y crear un valor único para el cliente.

El plan estratégico quinquenal del Servicio Postal, que se inició a partir del año fiscal 1998, refleja un proceso de recolección, análisis de datos y toma de decisiones ocurrido dentro de un entorno que presenta mucho más retos de los que el Servicio Postal de Estados Unidos haya experimentado desde su creación. Una competencia compleja, tecnologías sustitutivas, globalización y expectativas más elevadas de los clientes nos han llevado a dirigir al Servicio Postal a un camino de transformación para la mejora de los procesos, mayor productividad y compromiso hacia la innovación del producto y de los servicios. Sólo recorriendo este camino —que nos llevará tanto a crecimiento en los ingresos como a la limitación de los costos— se asegurará la capacidad del Servicio Postal de lograr su misión histórica de dar un servicio de entrega postal confiable, eficiente y universal.[3]

Desde principios de los años de 1900 hasta los 70, la industria manufacturera estadounidense hizo énfasis en mercados masivos, diseños de productos estándar y producciones de elevados volúmenes. A fines de los 70 y principios de los 90, las industrias japonesas empezaron a ofrecer productos de consumo de calidad, confiabilidad y durabilidad superiores a un costo menor de lo que podían ofrecer los fabricantes de Estados Unidos. La capacidad de las empresas japonesas de enfrentar el dilema entre el costo del producto y su calidad, se atribuía a su estrategia de manufactura.

Durante los años 80, mientras en muchas industrias las empresas estadounidenses perdían penetración en el mercado ante sus contrapartidas japonesas en Estados Unidos se hizo un esfuerzo desesperado por imitar los procedimientos de manufactura japoneses. Las empresas estadounidenses enviaron gerentes y ejecutivos a visitar las fábricas japonesas y observar sus prácticas de manufactura. Control estadístico de los procesos, Justo a Tiempo, calidad desde el origen, *kanbans*, círculos de calidad, flexibilidad en los empleados y reducciones en la preparación son unas pocas de las prácticas japonesas que se adoptaron en Estados Unidos durante los 80. Esto fue parte de un esfuerzo nacional hecho por las empresas estadounidenses de "ponerse al día" en relación con los nuevos estándares de desempeño fijados por los japoneses.

Como posteriormente descubrieron algunas empresas, el simple hecho de copiar las tácticas operacionales de otras empresas no es suficiente para tener éxito en una industria competitiva. Aunque muchos de estos esfuerzos de mejora en Estados Unidos tuvieron éxito, muchos no lo tuvieron, e incluso cuando las empresas estadounidenses implementaron con éxito las prácticas japonesas, no siempre daba como resultado una mayor rentabilidad. De acuerdo con el bien conocido autor de la escuela de Negocios de Harvard, Michael Porter: "El problema de raíz es el no distinguir entre la efectividad operacional y la estrategia".[4] La **efectividad operacional** es la capacidad de llevar a cabo actividades de operaciones similares mejor que los competidores. En los años 80, las empresas japonesas estaban muy por delante de sus contrapartidas estadounidenses en efectividad operacional.

Para lograr un desempeño comercial superior, son esenciales a la vez la efectividad operacional y una buena estrategia. Aunque Porter hace notar que para lograr una rentabilidad superior las empresas deben mejorar de manera continua su efectividad operacional, también pone de manifiesto que a la larga es muy difícil para las empresas competir con éxito basadas sólo en la efectividad operacional. "Los competidores pueden rápidamente imitar técnicas administrativas, nuevas tecnologías, mejoras en los insumos y mejores formas de satisfacer las necesidades de los clientes."[5] Conforme las empresas en Estados Unidos y otros países adoptaron las prácticas de manufactura japonesas, para muchos productos la ventaja competitiva de una mayor efectividad operacional de las empresas japonesas prácticamente desapareció durante los años 90.

Dicho simplemente, la estrategia competitiva de una empresa es su plan de la forma en que competirá en el mercado. Una estrategia efectiva es vital en los mercados competitivos. Para mantener una ventaja competitiva, las empresas deben decidir cómo diferenciarse de sus competidores, lo que Porter describe como "la esencia de la estrategia". *El reto para los gerentes de operaciones es no sólo mejorar las operaciones de sus empresas para lograr una efectividad operacional, sino también determinar de qué manera se puede utilizar la efectividad operacional para lograr una ventaja competitiva sostenible.*

El entorno competitivo de los negocios actuales cambia mucho más rápidamente que hace 20 años, principalmente debido a los adelantos tecnológicos. Para conservarse competitivas, las empresas deben ser flexibles y capaces de responder con rapidez a los cambios en su entorno y a los cambios en las demandas de sus clientes.[6] En nuestro entorno de rápido cambio global, la efectiva administración de las operaciones es de mayor importancia para un éxito competitivo que nunca antes. El desarrollo de una estrategia competitiva que explote los puntos fuertes de las operaciones de una empresa puede crear una ventaja competitiva poderosa. Pero antes de desarrollar una estrategia competitiva que pueda resultar efectiva, es necesario tomar en consideración las condiciones comerciales globales presentes y futuras. Por lo tanto, veamos algunos de los factores de importancia que están impactando la formulación de las estrategias de los negocios de hoy.

TABLA 2.1 **FACTORES QUE AFECTAN LAS CONDICIONES DE LOS NEGOCIOS GLOBALES ACTUALES**

1. Realidad de la competencia global
2. Calidad, servicio al cliente y retos respecto al costo
3. Expansión rápida de tecnologías de producción avanzadas
4. Crecimiento continuado del sector de servicios
5. Escasez de recursos de producción
6. Aspectos relacionados con la responsabilidad social

CONDICIONES ACTUALES DE LOS NEGOCIOS GLOBALES

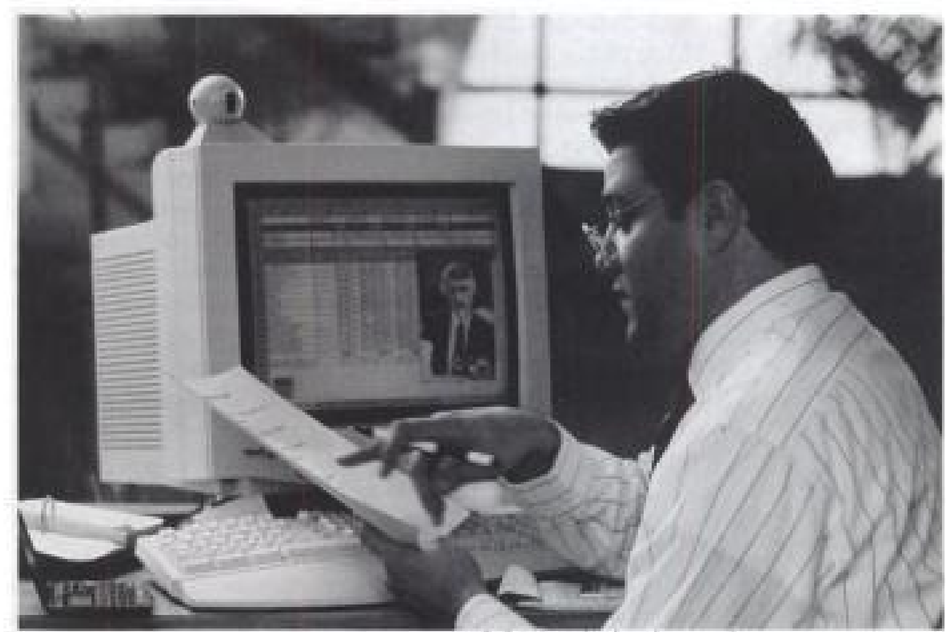
El punto de partida para el desarrollo de una estrategia empresarial —un plan de acción a largo plazo para alcanzar la misión corporativa— es estudiar las condiciones actuales de los negocios como base para predecir las correspondientes a mañana. La tabla 2.1 lista algunos de los desarrollos que afectan las condiciones actuales de los negocios.

REALIDAD DE LA COMPETENCIA GLOBAL

A continuación sigue un análisis de la naturaleza cambiante de los negocios en el mundo, de las empresas internacionales, de las alianzas estratégicas y de la producción compartida, y la fluctuación de las condiciones financieras internacionales.



Naturaleza cambiante de los negocios en el mundo El producto interno bruto (PIB) de Estados Unidos, que es el monto desembolsado cada año para bienes y servicios, excede de los ocho millones de millones de dólares y es el mayor del mundo (**www.bea.doc.gov**). Esto convierte a los mercados de ese país en un gran objetivo para productos/servicios del extranjero. *Las empresas de todo el mundo están exportando agresivamente sus productos/servicios a Estados Unidos. Debido en parte a esta mayor competencia en casa, muchas empresas estadounidenses están buscando mercados en el extranjero para apuntalar las utilidades.*



Avances tecnológicos en comunicaciones, como la capacidad de teleconferencia, han ayudado a las empresas a cerrar las brechas entre naciones para avanzar en esta economía global en continuo crecimiento.

TABLA 2.2 **CRECIMIENTO DE EXPORTACIONES ESTADOUNIDENSES**

País	Exportaciones en 1996 (miles de millones de dólares)	Porcentaje de incremento desde 1992	País	Exportaciones en 1996 (miles de millones de dólares)	Porcentaje de incremento desde 1992
Canadá	134.2	48	Bélgica	12.5	28
Japón	67.6	41	China	12.0	62
México	56.8	40	Australia	12.0	35
Reino Unido	31.0	36	Italia	8.8	1
Corea del Sur	26.6	82	Malasia	8.5	96
Alemania	23.5	11	Suiza	8.4	84
Taiwán	18.5	21	Arabia Saudita	7.3	2
Singapur	16.7	74	Tailandia	7.2	80
Holanda	16.7	21	Filipinas	6.1	122
Francia	14.5	-1	Israel	6.0	47
Hong Kong	14.0	54	España	5.5	−1
Brasil	12.7	121	Cuba	5.5	348



Fuente: Government Information Sharing Project, Oregon State University, **govinfo.kerr.orst.edu/impexp.html.**

Las comunicaciones, los transportes y las políticas relativamente amistosas de comercio global han facilitado la exportación para las empresas estadounidenses. Y desarrollos recientes políticos y económicos han vuelto atractivos muchos mercados del extranjero. Los representantes de 108 naciones trabajaron para desarrollar el General Agreement of Tariffs and Trade (GATT), orientado a facilitar el comercio mundial a través de fronteras nacionales (**itl.irv.uit.no/trade_law/documents/freetrade/wta-94/nav/toc.html**). Los países del este de Europa y de la anterior Unión Soviética están intentando moverse hacia economías impulsadas por los mercados, que está creando mercados atractivos. El rápido crecimiento del producto interno bruto de países como Brasil, México, Malasia, Corea del Sur, China y Taiwán es más elevado que el de Estados Unidos, y sus mercados en crecimiento son el objetivo de productos y servicios estadounidenses. La tabla 2.2 ilustra el alcance de este incremento en exportaciones de empresas estadounidenses.



Todo este comercio internacional ha resultado en un economía global que interconecta las economías de todas las naciones en lo que se ha dado a conocer como la ***aldea global****. Los eventos económicos en una nación afectan la economía de todas las demás. Por ejemplo, la recesión en un país afecta a todos los demás, y la recesión en un país puede convertirse en una recesión global.*

La formación de bloques comerciales afecta el comercio mundial. La Comunidad Europea (CE) de Europa Occidental permite que prácticamente todos los bienes pasen a través de las fronteras de la Comunidad sin ningún obstáculo. Se han adoptado estándares de productos válidos para toda la Comunidad Europea y se han normalizado los impuestos al valor agregado. El Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLC) enlaza a Canadá, Estados Unidos y México en un gran bloque comercial que ha incrementado el intercambio a través de estas fronteras nacionales. El comercio dentro y a través de estos bloques ya jamás será el mismo, para sobrevivir, las empresas se verán obligadas a reestructurarse y a modernizarse para competir en bloque en vez de a escala nacional. Aun cuando todavía se están corrigiendo muchos detalles en estos acuerdos, se trata de la ola del futuro y ciertamente se incrementarán las oportunidades de comercio mundial.

Uno de los mercados nuevos de mayor importancia para los productores internacionales del mundo y para los proveedores de servicios es China. Con la población más grande del mundo, de mil 200 millones de personas, el potencial de China como importador de primer orden de bienes y servicios extranjeros es tremendo. Por ejemplo, veamos esta declaración: "China representa el mercado de aeronaves comerciales más grande del mundo y en los siguientes 20 años se espera que coloque órdenes por mil 900 aviones por valor de 140 mil millones de dólares".[7] General Motors Corporation predice que el mercado de China en 25 años rivalizará con los 15 millones de vehículos nuevos que se venden todos los años en Estados Unidos.[8]

De manera lenta pero firme, China está permitiendo que más empresas extranjeras compitan en sus mercados antes cerrados, y no puede ignorarse el impacto futuro de ese país sobre el comercio global. "'China, es simplemente 'irresistible', sostiene Randy Yeh, jefe de Lu-

INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 2.1

APERTURA DE LOS MERCADOS DE CHINA A EMPRESAS EXTRANJERAS

Las empresas en todo el mundo están considerando los impactos posibles que resultarían si China se une a la Organización Mundial de Comercio (OMC) y se aviene a las reglas que gobiernan el comercio en el resto del mundo. La entrada de China en la OMC, formada por 132 naciones, todavía distante algunos años, haría lo que dos décadas de reformas económicas no han podido hacer: abrir el mercado más grande del globo. A continuación, algunos de los impactos previstos para empresas estadounidenses.

- Los productos de Estados Unidos se harían más baratos, algunos de la noche a la mañana, otros gradualmente, a lo largo de periodos de hasta 15 años.
- Muchos bienes, particularmente carne y otros productos del campo, se venderían en China por primera vez.
- Industrias completas, cerradas ahora a los extranjeros o restringidas a unas cuantas empresas seleccionadas, se abrirían al desaparecer las cuotas de importación, los requisitos de licencia y otras barreras. Los sectores que probablemente se beneficiarían más incluyen las telecomunicaciones, los seguros, las películas para televisión, la banca, el menudeo y los valores.
- Empezarían a desaparecer las restricciones engorrosas que protegen a los productores chinos contra la competencia y que llenan los cofres gubernamentales con ingresos por derechos.
- Las empresas estadounidenses quedarían libres para establecer los precios de sus propios productos y vender directamente a negocios, consumidores y otros clientes. Ahora deben pasar a través de distribuidores chinos y otros intermediarios.

Fuente: James Cox, "The Push to Open China: World Trade Status Would Benefit Foreign Firms", *USA Today*, 27 de octubre, 1997, 5B.

cent Technologies en China. 'Si usted desea ser un protagonista global, tiene que estar ahí.'"[9] La Instantánea Industrial 2.1 analiza los impactos probables sobre empresas estadounidenses en el caso que China abra sus mercados al exterior.

Compañías internacionales *Esta dinámica de mercados crea la necesidad de* ***empresas internacionales****, aquéllas cuyas operaciones abarcan todo el globo al comprar, producir y vender en los mercados mundiales.* La tabla 2.3 lista las 20 compañías públicas más grandes del mundo. Aquí hay tres ejemplos de empresas que han trasladado las oficinas centrales de unidades de negocio completas al extranjero:

- AT&T, empresa de Estados Unidos, trasladó su oficina central de operaciones de telefonía por cable a Francia.
- DuPont, empresa estadounidense, trasladó su oficina central de operaciones electrónicas a Japón.
- Hyundai Electronics Industries, empresa sudcoreana, trasladó su oficina de operaciones de computadoras personales a Estados Unidos.[10]

En la naturaleza cambiante de la competencia global, las empresas internacionales de todo el mundo buscan oportunidades de utilidades relativamente no limitadas por fronteras nacionales.

No siempre estamos conscientes de cuál es el país de origen de las empresas que fabrican los productos que adquirimos todos los días: Para ilustrar este punto, sométase a la prueba de la tabla 2.4. Algunos futuristas como Alvin Toffler creen que las empresas internacionales están evolucionando hacia **corporaciones sin nacionalidad**, que ya no son estadounidenses, japonesas o alemanas, sino no nacionales.[11] Desde esta perspectiva, los negocios se globalizan de tal manera que ya no tiene importancia la identidad nacional; se trata de "corporaciones sin país de origen, globalizadas, con operaciones, accionistas y gerentes en todo el mundo, en gran medida indiferentes a la ubicación, salvo en lo que se refiere a la eficiencia económica". ¿Qué es más estadounidense, un auto Eagle Summit de Chrysler fabricado en la planta Diamond-Star Motors de Mitsubishi en Normal, Illinois, que lo forman 52% de componentes estadounidenses, o un Camry de Toyota, hecho en Georgetown, Kentucky, con 74% de componentes norteamericanos? ¿Es japonesa la operación de Honda en Ohio? ¿Es IBM de Japón una empresa de Estados Unidos? Las voces discordantes opinan que este punto de vista está "de alguna manera emergiendo, si bien es prematuro, porque la mayor parte de las empresas extranjeras siguen pensando en función de lo que es bueno para sus países de origen".[12]

TABLA 2.3 LAS 20 EMPRESAS PÚBLICAS MÁS GRANDES DEL MUNDO

Empresa (país de origen)	Valor de mercado (miles de millones de dólares)
General Electric (EUA)	214
Royal Dutch/Shell (Holanda/Reino Unido)	178
Coca-Cola (EUA)	167
Nippon Telegraph & Telephone (Japón)	153
Exxon (EUA)	153
Microsoft (EUA)	151
Merck (EUA)	125
Intel (EUA)	116
Toyota Motor (Japón)	112
Philip Morris (EUA)	108
Novartis (Suiza)	99
Procter & Gamble (EUA)	96
Banco de Tokyo –Mitsubishi (Japón)	94
International Business Machines (EUA)	90
Johnson & Johnson (EUA)	86
Roche Holding (Suiza)	85
Bristol-Myers Squibb (EUA)	81
Pfizer (EUA)	77
Tiendas Wal-Mart (EUA)	77
Glaxo Wellcome (Reino Unido)	74

Fuente: "The Global Giants". *Wall Street Journal*, 18 de septiembre, 1997, R24-R25. Reproducido con permiso de *Wall Street Journal* © 1997, Dow Jones & Company, Inc. Todos los derechos reservados mundialmente.

Alianzas estratégicas y producción compartida Frente a convenios de libre comercio mundiales y a la formación de bloques comerciales regionales, el alcance de las operaciones de una empresa tiene tendencia a desplazarse del ámbito nacional al global. *Estos desplazamientos crean la necesidad de la formación de* ***alianzas estratégicas****, que son inversiones conjuntas entre compañías internacionales para explotar oportunidades de negocios de alcance mundial.* Aunque las razones para estas alianzas estratégicas pudieran variar, a menudo están motivadas por la tecnología del producto o de la producción, por acceso a los mercados, por la capacidad de producción o por la acumulación de capital y la creencia que una inversión conjunta tendrá más éxito que si las empresas por sí mismas lo hicieran de manera independiente. La Instantánea Industrial 2.2 describe algunas alianzas estratégicas entre varias de las empresas más grandes del mundo, y se espera que estas coinversiones aumenten en el futuro.

Existen otros ejemplos de alianzas estratégicas dentro de Estados Unidos. Sematech es una sociedad no lucrativa con sede en Austin, Texas; constituida en 1987 y financiada a partes iguales por 12 empresas estadounidenses y por el gobierno de Estados Unidos. El objetivo de Sematech fue desarrollar tecnología y métodos de producción que pudieran colocar a los fabricantes estadounidenses de microprocesadores para computadoras en un nivel competitivo en los mercados globales. El Laboratorio Nacional Lawrence Livermore en Livermore, California, ha firmado acuerdos con GM, Boeing, Caterpillar y otros para difundir y poner en práctica sus propias tecnologías.[13]

Parecería que las leyes antimonopolio estadounidenses se están interpretando con mayor liberalidad, para permitir mayor cooperación entre las empresas de Estados Unidos frente a la competencia global. Desde hace tiempo, las empresas de ese país han practicado el **keiretsu**, que es el enlazamiento de las empresas en grupos industriales. Un *keiretsu* financiero vincula empresas mediante la posesión cruzada de acciones, compras y ventas dentro del grupo, y asesorías. Un keiretsu de producción, ejemplificado por Toyota Motor Corporation, es una red de relaciones entrelazadas a largo plazo entre un gran fabricante y sus proveedores.

La ***producción compartida****, término acuñado por Peter Drucker, significa que un producto puede ser diseñado y financiado por un país, las materias primas producidas en otros países y embarcados para procesamiento adicional a diferentes países, los componentes pueden ser*

TABLA 2.4 **AUTOPRUEBA: ¿CUÁL ES EL PAÍS DE ORIGEN DE LA EMPRESA DE ESTOS PRODUCTOS?**

1. Electrodomésticos Braun:
   a) Suiza b) Alemania c) EUA d) Japón
2. Plumas Bic:
   a) Japón b) Checoslovaquia c) EUA d) Francia
3. Helados Häagen-Dazs:
   a) Francia b) Suecia c) Gran Bretaña d) EUA
4. Televisores RCA:
   a) Japón b) EUA c) Francia d) Corea
5. Camisas Arrow:
   a) Tailandia b) Italia c) EUA d) Francia
6. Chocolate Godiva:
   a) Francia b) Bélgica c) Suiza d) EUA
7. Vaseline:
   a) EUA b) Francia c) Inglaterra/Holanda d) Alemania
8. Llantas Firestone:
   a) Japón b) EUA c) Alemania d) Francia

Respuestas: **1.** c (Gillette Company), **2.** d (Bic SA), **3.** c (Grand Metropolitan PLC), **4.** c (Thomson SA), **5.** d (Bidermann International), **6.** d (Campbell Soup Company), **7.** c (Unilever PLC), **8.** a (Bridgestone)

Fuente: "Buying American an Elusive Goal". *Houston Chronicle,* febrero 2, 1992, 7F.

embarcados todavía a otra nación para su ensamble y el producto se venderá en todos los mercados mundiales. Aquella nación que tenga la calidad más elevada y el productor con un costo más bajo para una actividad en particular realizaría aquella parte de la producción correspondiente del producto. Como ejemplo de la producción compartida, el automóvil Festiva de Ford se diseñó en Estados Unidos, la ingeniería se hizo en Mazda, Japón, y se construyó por Kia en Corea del Sur, principalmente para el mercado estadounidense. El automóvil Capri de Mercury se diseñó por Ghia e Italdesign en Italia y se ensambló en Broadmeadows, Australia, utilizando componentes principalmente japoneses, para el mercado de Estados Unidos.[14]

Fluctuación de las condiciones financieras internacionales La inflación, tipos fluctuantes de cambio de divisas, tasas de interés turbulentas, volatilidad en los mercados accionarios internacionales, gigantescos endeudamientos de muchos países y enormes desequilibrios comerciales entre socios comerciales internacionales han creado condiciones financieras complejas para el comercio mundial.

Considere los efectos de los cambios en los tipos de cambio de las divisas. Estados Unidos, Alemania y Japón son los mayores exportadores mundiales. La tabla 2.5 ilustra la gran variación en tipos de cambio de divisas entre estos tres socios comerciales. Es impresionante el significado de la caída de valor del dólar de Estados Unidos en el periodo 1975-1995. Por ejemplo, *si tomamos en consideración sólo los efectos de los movimientos en los tipos de cambio*, un producto producido y vendido en Estados Unidos por un dólar se hubiera vendido en Japón por 210 yenes en 1985 y por 135 yenes en 1990, una reducción en precios de 36%:

TABLA 2.5 **EL DÓLAR EN COMPARACIÓN CON EL YEN Y CON EL MARCO**

Año	Yenes por dólar	Marcos por dólar
1975	305	2.7
1980	215	2.0
1985	210	2.4
1990	135	1.6
1995	85	1.4

INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 2.2

ALIANZAS ESTRATÉGICAS

- La National Semiconductor Corporation de Estados Unidos se ha asociado con Toshiba Corporation de Japón, Toshiba se ha asociado con Samsung Electronics Company de Corea, e IBM se ha asociado con Toshiba para entrar en el negocio de los microprocesadores de memoria flash.[a]
- Texas Instruments se está asociando con Acer Inc. en una expansión de 400 millones de dólares de su planta de fabricación de Wafers en Taipei.[b]
- En contratos que totalizan más de 750 millones de dólares: IBM construye computadoras para Hitachi y CompuAdd, tarjetas madre de PC para fabricantes de computadoras compatibles y sistemas de diagnóstico para Chrysler; TI construye computadoras para Sun Microsystems y Gateway 2000 y equipo de red para Wellfleet Communications y Cisco Systems, y DEC fabrica tarjetas de computadora para Apple Computer y sistemas de entretenimiento durante el vuelo para Hughes Aircraft.[c]
- General Motors Corporation, incapaz de introducirse por sí mismo en el difícil mercado de Corea del Sur, está en contacto con los fabricantes de automóviles de ese país para encontrar un socio local que le ayude a vender y a poner en el mercado sus automóviles en Corea del Sur sin tener que crear un sistema de distribución totalmente nuevo, y se habla que ese socio podría ser Kia Motor Corp.[d] GM también está planeando una inversión conjunta en Shenyang en el noreste de China con un socio local, First Auto Works, para desarrollar un vehículo de carga.[e]
- Renault SA de Francia firmó una carta de intención con la ciudad de Moscú para fabricar hasta 120 mil vehículos al año en la fábrica de automóviles AO Moskvich en las afueras de la capital rusa. Los franceses están dispuestos a hacerse cargo del 50% de la inversión conjunta y de invertir 350 millones de dólares.[f]

Fuentes:

[a] "Toshiba, Samsung to Jointly Develop Memory Chip." *Wall Street Journal*, 22 de diciembre, 1992, B5. "Chip Makers Sign 'Flash Agreement'." *New York Times*, 15 de diciembre, 1992, C6. "IBM, Toshiba to Build Memory Chips." *Houston Chronicle*, 22 de junio, 1992, B1.

[b] "TI to Spend $500 Million to Expand Italian Plant." *The Dallas Morning News*, 1 de diciembre, 1994, 5D.

[c] "Farming Out Work." *Business Week*, 17 de mayo, 1993, 92.

[d] "GM Seeks Partnership with a South Korean Auto Maker." *Wall Street Journal*, 2 de octubre, 1997, B4.

[e] "Auto Giants Build a Glut of Asian Plants, Just as Demand Falls." *New York Times*, 5 de noviembre, 1997, C1, C8.

[f] "Renault Plans Auto-Manufacturing Venture in Moscow." *Wall Street Journal*, 3 de noviembre, 1997, A17.

$$\text{Precio de 1990} = \text{precio de 1985} \times \frac{\text{tipo de cambio de 1990}}{\text{tipo de cambio de 1985}}$$

$$= \text{precio de 1985} \times \frac{135}{210} = \text{precio de 1985} \times 0.643$$

Por otra parte, un producto producido y vendido en Japón en 210 yenes en 1985 y vendido en un dólar en Estados Unidos se hubiera vendido en ese país por $1.56 dólares en 1990, es decir, con un incremento de precio de 56%:

$$\text{Precio de 1990} = \text{precio de 1985} \times \frac{\text{tipo de cambio de 1985}}{\text{tipo de cambio de 1990}}$$

$$= \text{precio de 1985} \times \frac{210}{135} = \text{precio de 1985} \times 1.56$$

La volatilidad entre el dólar de Estados Unidos y el marco alemán durante el mismo periodo es prácticamente igual de importante.

La caída del valor del dólar en las últimas dos décadas ha tenido efectos a largo y a corto plazo, tanto sobre los productores estadounidenses como sobre los extranjeros. En el corto plazo, los precios en el extranjero de los productos/servicios estadounidenses cayeron, incrementándose la demanda. Por otra parte, los precios de los productos japoneses en Estados Unidos se incrementaron, pero no tanto como se esperaba, porque con el fin de conservar su pe-

netración en el mercado estuvieron dispuestos a aceptar márgenes de utilidad más pequeños. Resultaron dos efectos dignos de mención:

1. En combinación con un *creciente temor a mayores cuotas de importación estadounidenses*, las empresas extranjeras, particularmente las japonesas, adquirieron o construyeron fábricas en Estados Unidos para suministrar sus productos/servicios en los mercados de esa nación. La industria automotriz fue afectada de una manera especial por este desarrollo. Para 1990, los fabricantes japoneses suministraban aproximadamente de 40 a 50% de los automóviles estadounidenses, incluyendo importaciones, trasplantes, inversiones conjuntas y componentes.
2. Los fabricantes japoneses se orientaron hacia productos de precios más elevados, creando oportunidades para que empresas de Corea del Sur y de otros países pudieran llenar el vacío dejado en el mercado estadounidense de productos duraderos de consumo de precio bajo.

Se aprendió una lección de importancia: *los fabricantes de Estados Unidos deben desarrollar estrategias comerciales con flexibilidad incorporada y teniendo en cuenta los mercados financieros mundiales; deben estar listos para moverse con rapidez y cambiar la estrategia conforme cambian las condiciones financieras del mundo.* Algunas decisiones estratégicas, como la construcción de una empresa en territorio extranjero, son difíciles de tomar con rapidez, pero por lo general se disponen de oportunidades para reducir el riesgo. Se pueden construir fábricas más pequeñas y flexibles, o se pueden utilizar proveedores del extranjero para el suministro de materiales, componentes o productos. También, una planeación y un pronóstico cuidadosos deben formar parte integral de la planeación estratégica, de manera que puedan preverse y considerarse tantos cambios como sea posible en los planes a largo plazo.

Retos estadounidenses respecto a calidad, servicio al cliente y costo

Algunas empresas estadounidenses, debido a la calidad del producto, el servicio al cliente y los costos de producción, son particularmente vulnerables en la actual competencia global.

En los 80, cuando se creía que la calidad de los bienes y servicios estadounidenses era inferior, muchas empresas de ese país hicieron un severo análisis de sí mismas. Llegaron a la conclusión que la competencia global en los años 90 y posteriores se basaría principalmente en la calidad del producto y de los servicios, decidieron que el uso de palabras huecas y de lemas publicitarios como en el pasado ya no sería suficiente para la supervivencia. La meta de una **calidad adecuada** tenía que ser reemplazada por el objetivo de **un producto y una calidad de servicio perfectos.**

Ahora, muchas empresas de Estados Unidos, tanto grandes como pequeñas, han adoptado la *administración de la calidad total* (TQM, por sus siglas en inglés) como una manera de vivir, y sus organizaciones jamás serán igual que antes. La TQM hace que la empresa se enfoque a las necesidades del cliente y estructura la organización para cubrir esas necesidades. Se tuvieron que lograr cambios fundamentales en la manera en que los negocios operan antes que conseguir que la TQM fuera efectiva. Hubo que modificar la totalidad de la cultura organizacional, de tal forma que todas las actividades de la empresa pudieran redirigirse y comprometerse al ideal de una calidad perfecta. Se tuvo que dar la autoridad necesaria a las personas que fabricaban los productos y que prestaban los servicios, de manera que pudieran lograr el objetivo de la calidad perfecta, y éste debía tener prioridad sobre cualquier otro objetivo. El compromiso con la mejora continua de la calidad de los productos y servicios tenía que ser en todo el ámbito de la organización. La buena noticia es que hoy la calidad de muchos productos y servicios estadounidenses iguala o supera la de sus competidores extranjeros.

Para tener éxito en la competencia global del siglo XXI, las empresas deben desarrollar con rapidez productos innovadores y responder prontamente a las necesidades de los clientes. Las viejas formas burocráticas organizacionales que se diseñaron para proporcionar estabilidad son incompatibles con la naturaleza continuamente cambiante de la actual empresa global. En los 90, muchas empresas estadounidenses grandes y poderosas han llegado a la conclusión que en sus formas organizacionales burocráticas presentes, la innovación del producto y respuesta hacia al cliente han sido inadecuadas. Empresas como General Motors e International Business Machines han eliminado unidades de negocio completas, convirtiéndolas en negocios autónomos, de manera que pudieran contender con competidores más pequeños y fuertes. En otras

empresas como Xerox, Motorola, Chrysler, General Electric y AT&T, se modificaron las estructuras organizacionales para permitir el cambio, las antiguas estructuras organizacionales verticales se hicieron más horizontales al eliminar niveles completos de administración, se dio autoridad a equipos multidisciplinarios para que puedan tomar decisiones para diseñar, desarrollar e introducir nuevos productos ahorrando tiempo y dinero y respondiendo mejor al mercado. Todavía se requieren más avances si se desea que las empresas estadounidenses sobrevivan. Posteriormente retomaremos el análisis del servicio al cliente en este capítulo.

En los años 80, se combinaron varios desarrollos para ejercer gran presión sobre los fabricantes de Estados Unidos para que redujeran costos y precios de sus productos. Un impacto importante fue el hecho que los productores asiáticos ponían en los mercados estadounidenses productos a un precio inferior. Por ejemplo, en 1980, a GM, Chrysler y Ford les costaba mil 500 dólares más por mano de obra por automóvil que a los fabricantes japoneses. Para los 90, los fabricantes estadounidenses habían eliminado prácticamente la ventaja en costo que fabricantes japoneses como Toyota y Honda habían disfrutado. Otro desarrollo ocurrido en los años 80 y 90 habría de tener efectos dramáticos en los precios y costos de los productos estadounidenses. Detallistas gigantescos como Wal-Mart, Kmart, Home Depot, Target, Circuit City, Costco, Toys 'R' Us y otros, eliminaron competidores más débiles del mercado. Estos detallistas representan un mercado tan enorme que tienen gran capacidad de influir sobre los proveedores fabricantes para que mejoren sus operaciones y que reduzcan costos y precios. Un tremendo incentivo para reducir continuamente los costos es la posible pérdida de un contrato de suministro con Wal-Mart debido a que un competidor ofrece precios inferiores. Muchas compañías de Estados Unidos respondieron a estos retos intentando reducir costos indirectos y costos de mano de obra.

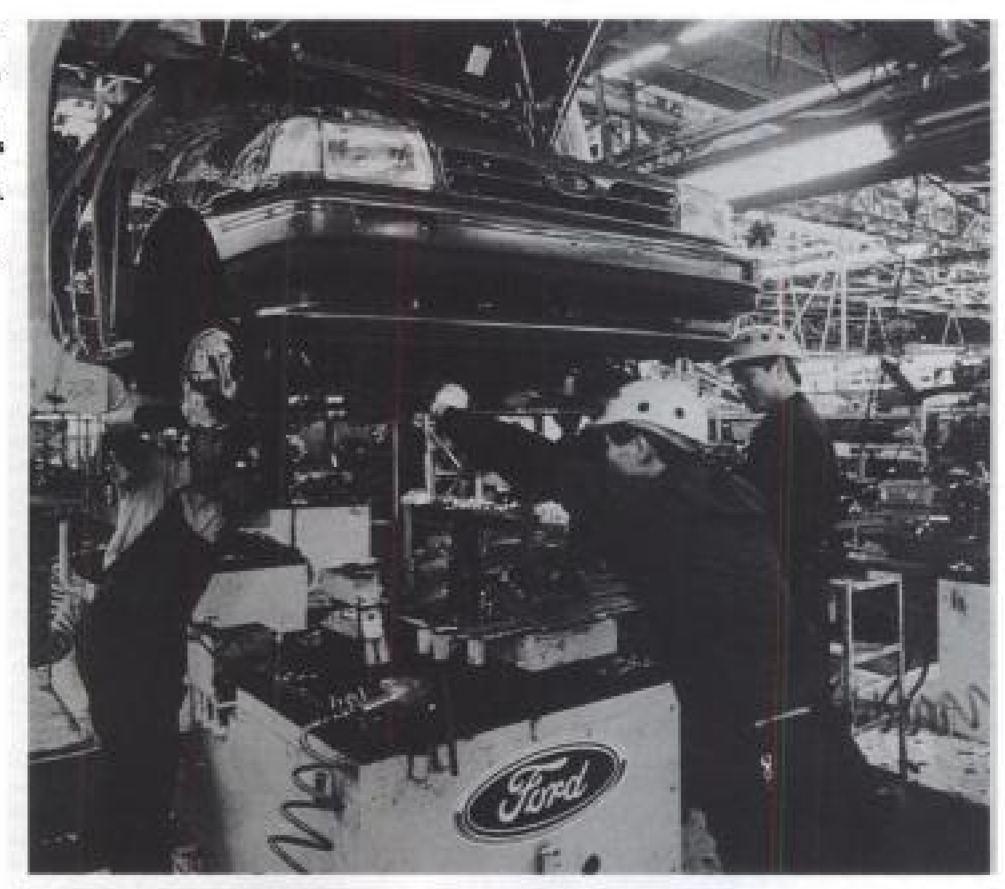
Los costos indirectos son todos aquellos no directamente relacionados con la producción y venta de productos y servicios. Las compañías más antiguas tienen tendencia a llenarse de mucho personal en las oficinas centrales corporativas y divisionales, de fábricas redundantes, de costosos programas de atención médica y de retiro, y de nóminas excesivas. Para reducir los costos indirectos, una cantidad cada vez mayor de empresas estadounidenses ha anunciado en los años 90 cambios en los programas de atención médica y de retiro, así como despidos de personal y cierre de fábricas.

Algunos analistas creen que el elevado costo de proporcionar atención médica a trabajadores de edad avanzada y a jubilados es el factor de mayor importancia que hace que la producción de automóviles sea más costosa en las fábricas estadounidenses que en las fábricas japonesas, tanto en Estados Unidos como en el extranjero.[15] GM y Ford han informado que gastan más en atención médica de lo que gastan en acero.[16] DuPont registró un cargo de cinco mil millones de dólares para proporcionar atención médica a sus jubilados.[17]

Durante los años 90, en un esfuerzo por ser más eficientes y competitivas, muchas empresas estadounidenses eliminaron puestos de trabajo. Entre 1990 y 1997, General Motors eliminó 107 mil empleos, y para el 2002, GM planea despedir otros 42 mil trabajadores conforme va modernizando sus fábricas clave y cerrando plantas más antiguas.[18] Otras empresas, como Eastman Kodak, Raytheon, Levi Strauss, Boeing, Citicorp, Xerox, AT&T, IBM, Johnson & Johnson y Westinghouse anunciaron despidos y cierres de planta durante los años 90. Esta reducción en tamaño de las corporaciones más grandes se dirigió a reducir costos indirectos y mejorar sus resultados finales, pero también para deshacerse de unidades de negocios completas, de forma que se pudieran convertir en más flexibles, emprendedoras y responsables a las necesidades de los clientes en sus negocios principales. Aunque pareciera que la reducción de tamaño corporativo ha ido disminuyendo hacia el final de los años 90, muchas empresas continúan anunciando la eliminación de empleos al intentar competir con mayor efectividad en esta economía global.[19]

Durante los años 80 y 90, muchas empresas estadounidenses pusieron en práctica la **manufactura Justo a Tiempo** (JIT, por sus siglas en inglés) para reducir costos por inventarios y hacer más flexibles sus operaciones. En JIT, los proveedores entregan a sus clientes los materiales justo cuando se necesitan en cada uno de los pasos del proceso de producción, reduciendo así los niveles de inventario, el tiempo de producción y el desperdicio. Analizaremos más ampliamente lo referente a JIT en capítulos posteriores.

A fin de reducir costos de mano de obra, la mayoría de las empresas consideran a los salarios, productividad de la mano de obra y automatización de las fábricas. Empresas de Alemania, Canadá, Estados Unidos y Japón tienen tasas salariales sustancialmente más elevadas que Corea del Sur, Taiwán y México. *¿De qué manera compiten los países con costo de mano de*



La creciente competencia de los productores de automóviles asiáticos ha forzado a los tres grandes productores de autos de Estados Unidos a eliminar el excedente en sus costos indirectos. Un factor importante son los costos de atención médica, en los que Ford desembolsa más que en acero.

obra elevado? Son comunes tres procedimientos: trasladar la producción a países con costo de mano de obra bajo, negociar salarios inferiores con sindicatos y trabajadores, y automatizar las operaciones para reducir la cantidad de trabajadores. En los años 70 y 80, empresas japonesas y estadounidenses trasladaron gran parte de la producción a Taiwán, Corea del Sur, México y otros países con bajo costo de mano de obra, particularmente en operaciones que fueran **intensivas en mano de obra,** y que tienen un elevado costo de ésta en relación con los demás costos. En Estados Unidos, se han visto concesiones sin precedentes en los salarios aceptadas por los sindicatos. Las empresas japonesas han invertido grandes sumas en sistemas de producción automatizados y muchas empresas estadounidenses también están invirtiendo grandes sumas en procesos de automatización. Como veremos posteriormente, la automatización no sólo reduce el costo de la mano de obra e incrementa su productividad, sino que también puede mejorar la calidad del producto y acelerar la introducción de nuevos productos.

Pero las empresas en los países con costo de mano de obra bajo también han invertido en los métodos más recientes de producción de alta tecnología. Hyundai, Gold Star y Samsung, de Corea del Sur son ejemplos de lo que puede ocurrir cuando empresas de un país con bajo costo de mano de obra utilizan métodos modernos de alta tecnología de producción. Se pueden convertir en el proveedor mundial de precio bajo de todo, desde automóviles pequeños hasta grabadoras de video.

La mala calidad, poca flexibilidad y un mal desempeño en costos han resultado, directa o indirectamente, en la pérdida de puestos de trabajo en Estados Unidos, los trabajos se perdieron por dos razones principales. Primero, algunos productos antes hechos en Estados Unidos se manufacturan ahora en países extranjeros: esta es una pérdida directa de puestos. Segundo, en las empresas estadounidenses se ha instalado equipo de producción de tecnología avanzada para superar los problemas de calidad y costo, lo que ha eliminado algunos puestos de producción y creado otros que requieren nuevas habilidades no existentes en la fuerza de trabajo actual. Estos desarrollos han creado la necesidad de que las estrategias de las empresas estadounidenses se enfoquen en el **desplazamiento de trabajadores**, la **reestructuración de puestos** y la **recapacitación de los trabajadores.**

TABLA 2.6

ALGUNOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE ALTA TECNOLOGÍA

Término	Definición y descripción
Diseño asistido por computadora (CAD)	Software y hardware especializados para permitir a los ingenieros diseñar productos directamente en las terminales de computadora. Pueden enlazarse con un sistema de cómputo más extenso de manera que los diseños puedan ser enviados a otros. Empresas como General Electric, Texas Instruments, Exxon, Eastman Kodak, Xerox, General Motors, Boeing, DuPont y Caterpillar tienen estos sistemas.
Manufactura asistida por computadora (CAM)	Sistemas de cómputo especializados que traducen la información del diseño asistido por computadora (CAD) en instrucciones para maquinaria de producción automatizada. CAM no está tan bien desarrollado como CAD. El hardware requerido, como los microprocesadores que son el cerebro de la maquinaria especializada, ya existe, pero el software necesario para convertir los diseños en instrucciones completas de manufactura no está tan ampliamente disponible.
Sistemas de manufactura flexible (FMS)	Agrupamientos de máquinas automatizadas controladas por computadora. Estos agrupamientos producen una diversidad de productos sobre una misma máquina. Las computadoras dan las instrucciones, los robots manejan los componentes y materiales, y los ajustes de las máquinas se realizan automáticamente según se requiera para producir los diferentes productos. La planta de medidores eléctricos de General Electric en New Hampshire produce dos mil medidores diferentes sobre un mismo equipo flexible y es un ejemplo de esta metodología.
Sistemas automatizados de almacenamiento y recuperación (ASRS)	Almacenes controlados por computadora que incluyan la colocación automática de los componentes dentro del almacén, la recuperación automática de los componentes del almacén según se requiera en producción o en embarques, y el transporte automático de los componentes hacia y desde el almacén.
Sistemas de identificación automáticos (AIS)	Códigos de barra, frecuencias de radio o caracteres ópticos diseñados para representar datos que son leídos por escáners que transmiten los datos a la computadora. Un ejemplo de este sistema se puede observar en todas las cajas de los supermercados. Los códigos de barras en los productos se hacen pasar frente al escáner y se lee el precio, la descripción del elemento, el número de inventario y otros datos y se almacenan en una computadora para su proceso.

Todo esto llega mientras los gerentes están intentando administrar una fuerza de trabajo siempre cambiante y más diversificada. La diversificación solía significar raza, origen étnico y sexo. De manera cada vez mayor, la diversificación también significa edad, orientación sexual, incapacidades físicas y mentales, antecedentes socioeconómicos, e incluso estilos de vida.[20] La demografía de la población estadounidense se está moviendo hacia una diversificación aún mayor: de una población de 150 millones en 1950 que era 90% blanca, a una de 250 millones en 1990 que era 80% blanca con significativamente más ciudadanos de mayor edad, hispánicos y asiáticos.[21] El reto no es sólo tratar con esta diversidad sino también utilizarla como un poderoso recurso para hacer más competitivas a las empresas. Analizaremos esto de manera adicional en el capítulo 16, Productividad y empleados.

Muchas empresas estadounidenses han aceptado el reto de mejorar la calidad de productos y servicios, el servicio al cliente y el costo; muchas más deberán hacerlo si han de sobrevivir. Un camino para responder a este reto es a través de la automatización.

TECNOLOGÍA AVANZADA DE PRODUCCIÓN

El uso de la automatización en la producción es uno de los desarrollos de más trascendencia que afectó a la manufactura y a los servicios durante el siglo XX. La tabla 2.6 describe algunos de estos sistemas avanzados de producción.

Trátese de organizaciones grandes o pequeñas, estos sistemas de máquinas están revolucionando muchas fábricas y operaciones de servicio en Estados Unidos y en otros países del mundo. *A pesar de que el costo inicial de estos activos es elevado, los beneficios alcanzan mucho más allá de una reducción en costos de mano de obra. Una mayor calidad de productos y servicios, un menor costo de desperdicio de materiales, una respuesta más rápida a las necesidades del cliente y una más rápida introducción de productos y servicios nuevos son unas cuantas de sus ventajas.*

Japón a la vez produce y utiliza aproximadamente dos tercios de la maquinaria de producción automatizada del mundo. Actualmente, los sistemas de producción automatizada están disponibles para cualquier empresa del mundo a un cierto precio. Esto significa que las fábricas y las operaciones de servicio estadounidense no pueden utilizar la tecnología de producción automatizada como una ventaja competitiva a *largo plazo*, ya que los competidores del extranjero también tienen acceso a esta misma tecnología, pero no invertir en esta tecnología puede dejar a las fábricas y a las operaciones de servicio estadounidenses en una muy clara desventaja competitiva a largo plazo, y retrasar dicha inversión podría ser desastroso.

Para algunos fabricantes de Estados Unidos, estos sistemas de alta tecnología pueden constituir una parte importante de su estrategia empresarial para mantenerse competitivos en el juego de alto riesgo de la competencia mundial. Para otros, el costo de admisión al juego es sencillamente prohibitivo. Estudiaremos más sobre estos sistemas de producción avanzados en el capítulo 5, Tecnología de la producción.

Crecimiento continuado del sector de servicios

La aparición de una diversidad de organizaciones privadas y públicas para proporcionar servicios a la población en crecimiento es uno de los hechos más impresionantes de la actual economía estadounidense. Al concentrarse en el floreciente sector de servicio, sin embargo, se debe reconocer que un sector de servicios en crecimiento no necesariamente significa que el sector de manufactura no esté saludable, y también es importante reconocer las relaciones existentes entre los sectores de manufactura y de servicio.

Durante las últimas tres décadas, el sector de manufactura estadounidense se ha mantenido sin cambio como aproximadamente 20 a 21% del producto interno bruto, en tanto que el empleo total porcentual en las manufacturas se redujo de aproximadamente 20% y se está acercando a 15%. Algunos especulan que el sector de manufactura en Estados Unidos está en vías de parecerse mucho a su sector agrícola, que sólo ocupa 3% del empleo total estadounidense, aunque produce tantos alimentos que el gobierno tiene que pagar a algunos granjeros para que no siembren. *Aunque la cantidad de empleos en la manufactura se está reduciendo, esto es el resultado de una mayor productividad al hacer mejor las cosas y no debido a una producción en declive. Esto es precisamente lo que el sector de manufactura estadounidense ha tenido que hacer para sobrevivir en las guerras de la competencia, y si ha de sobrevivir, el sector de servicios estadounidense debe también modernizarse y mejorar sus operaciones.*

Muchas empresas de servicio sólo existen porque el sector de manufactura adquiere sus servicios, por lo que es necesario un sector de manufactura fuerte y vigoroso para apoyar al sector de servicio. Las empresas de servicio en industrias como la construcción, la distribución industrial, el control de la contaminación, la impresión y publicidad, la difusión, la editorial, los servicios comerciales, los servicios financieros, los seguros, los alojamientos, la atención a la salud, la banca, las telecomunicaciones, los servicios públicos, los ferrocarriles y el transporte por carretera no podrían sobrevivir si no fuera por la existencia de un sector manufacturero sano. En su libro *Manufacturing Matters: The Myth of the Post-Industrial Economy*, Cohen y Zysman aseguran que en Estados Unidos los puestos de servicio vinculados con la manufactura acrecentan el porcentaje de empleo dependiente de la manufactura de aproximadamente 20% a entre 40 y 60%.[22]

De manera similar, muchas empresas de manufactura venden parte de sus productos a empresas de servicio, por lo que un sector extenso de servicios ayuda a sostener al sector de manufactura. También, muchas innovaciones tecnológicas se desarrollaron por primera vez en la manufactura y han demostrado ser vitales para mantener competitivos a los servicios. *Esta red de interrelaciones entre servicios y manufactura pone en duda la frase* ***economía de los servicios****, porque evidentemente muchos servicios no existirían sin un fuerte sector de manufactura a la inversa.* A pesar de ello, debemos reconocer al sector de servicios como una presencia grande y creciente en la economía estadounidense. Sin embargo si el sector de servicios ha de prosperar, co-

mo ocurre en la manufactura, deberá continuar mejorando en cuanto a calidad, flexibilidad y costo. Las compañías de servicio de Estados Unidos no son libres de competencia por parte del extranjero. Entre los diez bancos más grandes del mundo, uno es estadounidense y ocho son japoneses, así como la agencia de publicidad más grande del mundo. Hay demasiados ejemplos de mala calidad de servicio. "Su camisa vuelve de la lavandería con un botón roto. Después de una semana de haber pagado una cuenta excesiva por reparación, reaparece ese molesto ruido en el motor de su automóvil. Un representante de servicio a clientes le dice que le llamará y no lo hace. Un cajero automático se queda con su tarjeta."[23] Estos recordatorios de que no todo es perfecto en las operaciones de servicio nos motivan a desarrollar maneras más eficaces de administrarlas.

Muchos gerentes de operaciones están empleados en los servicios y, sin duda alguna, en el futuro serán muchos más. Estos gerentes están adaptando a los sistemas de servicios algunos de los procedimientos de planeación, análisis y control utilizados en la manufactura, y como resultado, los sistemas de servicio han mejorado. Por ejemplo, el Methodist Hospital de Houston ha desarrollado un sistema muy eficaz de control de inventarios. El gerente que desarrolló este sistema de inventarios lo aprendió en Armco Steel Corporation. Sin embargo, muchos de los métodos desarrollados en la manufactura no son de fácil aplicación directamente a los servicios, por lo que deben desarrollarse y probarse nuevos métodos.

Lo que se necesita en los servicios, quizás más que cualquier otra cosa, es una forma más eficaz de desarrollar estrategias de las operaciones. Esto se analizará posteriormente en este capítulo.

Escasez de los recursos de producción

La escasez de los recursos de producción siempre será causa de dolores de cabeza para los gerentes de operaciones. Ciertas materias primas, como el titanio y el níquel, las habilidades del personal, el carbón, el gas natural, el agua, los productos petroquímicos y otros recursos periódicamente no están disponibles o escasean y probablemente se harán aún más escasos en el futuro. Dado el suministro finito a las empresas de estos escasos recursos y con una demanda siempre en crecimiento, un aspecto importante en una formulación de la estrategia empresarial es cómo asignar estos recursos entre las oportunidades de negocio. Analizaremos más sobre estas decisiones de asignación en el capítulo 6, Asignación de recursos a las alternativas estratégicas.

Aspectos relacionados con la responsabilidad social

Las actitudes de los consejos de administración corporativos estadounidenses hacia la responsabilidad social están evolucionando, de hacer lo que las empresas tienen derecho legal de hacer, a hacer lo que es correcto. Aunque las razones de esta evolución son variadas y complejas, se cree que los siguientes factores son importantes:

1. **Actitudes de los consumidores.** Existe una creciente evidencia de que los consumidores y los grupos de éstos influyen en las empresas para que actúen con responsabilidad. Esta influencia se siente a través de aspectos como resoluciones presentadas en las asambleas de accionistas, preferencias específicas de los consumidores hacia productos y servicios socialmente responsables, demandas por responsabilidad civil por los productos y actividades políticas y de cabildeo.
2. **Reglamentación gubernamental.** Una fuerza creciente en el control del comportamiento de los negocios estadounidenses son las autoridades y leyes locales, estatales y federales. La Environmental Protection Agency CEPA, la Occupational Safety and Health Act COSHA, la Clean Air Act de 1990, las reglamentaciones de seguridad de los productos estatales y federales, y la Family Leave Act de 1993 son sólo unas cuantas de las muchas restricciones que la sociedad ha impuesto a los negocios.
3. **Interés propio.** Las empresas están cambiando la forma en que se comportan en relación con los aspectos sociales, ya que se dan cuenta que si actúan con responsabilidad las utilidades a largo plazo serán más elevadas.

Se analizarán las siguientes categorías de aspectos de responsabilidad social: los impactos sobre el ambiente y los impactos sobre los empleados.

Impacto ambiental Es mucha la preocupación por el entorno mundial. La capa de ozono, los bosques tropicales, el calentamiento del planeta y la lluvia ácida; los derrames de petróleo y químicos, la disposición y eliminación de residuos tóxicos y radiactivos, la contamina-

Instantánea industrial 2.3

La limpieza es rentable

Empresa	Cambio en la manufactura	Beneficio
AT&T	Proceso para limpieza de tarjetas de circuito rediseñadas	Eliminó el uso de productos químicos que destruyen la capa de ozono y redujo costos de limpieza en tres millones de dólares al año
Carrier	Cambió el proceso de corte de metales y rediseñó componentes de aire acondicionado	Eliminó solventes tóxicos y redujo el costo de manufactura 1.2 millones de dólares anualmente
Clairol	Ahora emplea esferas de espuma en lugar de agua para limpiar tuberías en la manufactura de productos para el cuidado del cabello	Redujo en 70% el desperdicio de agua y ahorra 240 mil dólares anuales en costos de disposición de desechos
W. R. Grace	Volvió a formular solventes y modificó los procesos en la operación de selladores y juntas	Redujo el desperdicio tóxico en 50%
3M	Desarrolló adhesivos para cintas de sellado de cajas que no requieren solvente	Eliminó la necesidad de equipo de control de contaminación por un valor de dos millones de dólares
Polaroid	Eliminó el mercurio de la batería	Las baterías ahora son reciclables
	Mejoró las plantas de productos químicos fotográficos	Redujo la generación de desperdicio en 31% y en 10% los costos de eliminación del desperdicio, lo que significaron 250 mil dólares anuales
Reynolds Metals	Reemplazó tinta basada en solvente por tinta basada en agua en las plantas de empaque	Redujo las emisiones en 65%, con un ahorro de 30 millones de dólares en equipo de producción
Union Carbide	Desarrolló el sistema que reemplaza los solventes con bióxido de carbono como medio para utilizar la pistola de aire	Redujo las emisiones orgánicas volátiles en 72%
Whyco Chromium	Cambió el proceso que hace a las tuercas, pernos y otros sujetadores resistentes a la corrosión	Redujo el costo de proceso en 25%
Compaq	Instaló nuevos procesos para utilizar fundentes no corrosivos para soldar los componentes a las tarjetas de circuito de la computadora	Eliminó la emisión de productos químicos destructores de ozono en sus fábricas

Fuentes: "Some Companies Cut Pollution by Altering Production Methods." *Wall Street Journal*, 24 de diciembre, 1990, 1, 28; "Compaq Plans to End Its Use of Ozone-Eater." *Houston Chronicle*, 13 de junio, 1991, F1.

ción del aire, de la tierra, del agua, de la luz y del sonido; la conservación de la energía, la reducción de rellenos sanitarios de desperdicio, y el reciclaje de papel, vidrio, aluminio y acero. Las Instantáneas Industriales 2.3, 2.4 y 2.5 describen lo que algunas empresas estadounidenses están haciendo para proteger el ambiente y conservar los recursos naturales. Algunas compañías han conceptuado estos desarrollos como oportunidades comerciales. En Estados Unidos se han creado negocios totalmente nuevos para suministrar productos y servicios relacionados con el entorno. Estas industrias ofrecen productos que van desde raspadores de chimenea para limpieza del aire contaminado hasta equipo para eliminar derrames de petróleo y servicios de asesoría que ofrecen consejo sobre el entorno.

Con la tendencia hacia empresas internacionales y la producción compartida, parece evidente la necesidad de estandarizar las reglamentaciones gubernamentales sobre el entorno; de lo contrario, las empresas tenderán a concentrarse en los países menos reglamentados. Un caso así se da a lo largo de la frontera Estados Unidos-México. A menos que las reglamentaciones ambientales entre ambas naciones se puedan estandarizar por medio del TLC, el entorno seguramente sufrirá en esta región. Existe algún progreso en acuerdos multinacionales, como queda evidenciado por actividades como conferencias internacionales para la protección del ambiente, acuerdos multinacionales que reglamentan la liberación de los clorofluorocarbonos industriales (CFC) y los acuerdos multinacionales para reducir la captura de ballenas y delfines.

INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 2.4

RECICLAJE Y CONSERVACIÓN EN LA INDUSTRIA

- McDonald's está construyendo un nuevo restaurante en Westland, Michigan, que incorporará un sistema geotérmico de calefacción y enfriamiento utilizando la temperatura natural constante subterránea.[a]
- Puesto que muchos adhesivos causan problemas en los molinos de reciclaje de papel, la empresa 3M diseñó un adhesivo único en sus Post-It que se disuelve en el agua y que se elimina en las primeras etapas del proceso de reciclaje.[b]
- Varias empresas han encontrado interesantes maneras de reciclar el material plástico de más uso en el mundo, el cloruro de polivinilo (PVC). Collins & Aikman Floorcoverings, con base en Georgia, toma los viejos linóleos de sus lugares de instalación, reprocesa el plástico y lo transforma en respaldo de alfombra reciclado, en pisos industriales, en barreras acústicas para supercarreteras y en mamparas para embarcaciones.[c]
- DuPont ha codesarrollado 3GT, un textil de poliéster de bioingeniería fabricado de almidón de maíz, que es inferior en costo al poliéster basado en petróleo y se puede reciclar de manera indefinida.
- Sonoco ha creado una "caja de papel" rectangular para el té helado Lipton que es 70% reciclable.
- 3M ha desarrollado un recubrimiento plástico que sustituye a la pintura en camiones, barcos y trenes del ejército de Estados Unidos. Pesa menos que la pintura, lo que brinda una eficiencia de combustible más elevada.
- S.C. Johnson reformuló el cucarachicida Raid, de una fórmula basada en solventes a una fórmula basada en agua.
- Toyota está introduciendo un automóvil híbrido que alcanza 106 kph a partir de una combinación de gasolina y electricidad.
- Finkl & Sons, una acería de Chicago, recicla más de 95% de su desperdicio sólido y en los últimos 10 años ha reducido el uso de energía en 36.4%, convirtiéndola en una de las acerías más eficientes en el mundo.
- British Petroleum ha invertido 160 millones de dólares en el desarrollo de la energía solar y está construyó una villa deportiva totalmente alimentada por energía solar para los Juegos Olímpicos de 1998 en Australia.[d]
- Xerox Corp. ha tomado varias medidas para reducir desperdicio en las fábricas y reutilizar o reciclar más componentes. Los diseñadores han reducido el número de productos químicos utilizados en los cartuchos de impresora de 500 a 50, para facilitar el reciclado. Los cartuchos de tinta y de tóner vienen ahora con etiquetas de devolución con flete pagado, lo que incrementa la tasa de reutilización hasta en 60%. Los esfuerzos le han ahorrado a Xerox aproximadamente 200 millones de dólares al año o más.[e]

Fuentes:
[a] "Michigan McDonald's Will Have Geothermal Power." *Houston Chronicle*, 19 de octubre, 1997, 11E.
[b] "Paper Recyclers Unable to Lick Sticky Problem." *USA Today*, 7 de octubre, 1997, 3A; "Post-Its Don't Cause Problems for Recycling Mills." *USA Today*, 22 de octubre, 1997, 14A.
[c] "Demand Increases: Reprocessed PVC Products Create a New Market." *Dallas Morning News*, 10 de octubre, 1997, 5G.
[d] "Leading the Way to Eco-Friendly Profits." *Business Week*, 10 de noviembre, 1997, 99.
[e] "A Society That Reuses Almost Everything." *Business Week*, 10 de noviembre, 1997, 106.

La Organización Internacional para la Estandarización (ISO) ha desarrollado recientemente un conjunto de lineamientos ambientales conocidos como ISO 14000 (**www.iso.ch/9000e/9000e.htm**), para ayudar a las empresas a desarrollar formas de administrar y controlar mejor el impacto que sus actividades, sus productos o sus servicios tienen en el entorno, con énfasis en la prevención y en la mejora continua. Si una empresa sigue las guías de ISO 14000, puede obtener la certificación ISO 14000.



Impacto sobre los empleados La escasez de mano de obra, las presiones de la sociedad y de los consumidores, la ética y las leyes locales, estatales y federales actúan en conjunto para hacer que las empresas desarrollen políticas para un trato justo de los empleados. Las empresas de Estados Unidos están brindando seguridad y programas de salud, prácticas justas de contratación y promoción en relación con edad, raza, color, sexo, preferencia religiosa e incapacidades; programas de beneficios o prestaciones, incluyendo cuidados a la salud para la familia de los empleados, guardería para hijos de padres trabajadores, permisos por embarazo, programas para cuidados a personas de la tercera edad dependientes de empleados, planes de retiro y otras políticas. Algunos de estos programas son obligatorios por ley y supervisados y

INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 2.5

ESFUERZOS AMBIENTALES EN COMPAQ

Compaq está comprometida en hacer sus negocios de forma que sea compatible con el entorno y la protección de la calidad de las comunidades en las que opera. Compaq ha asumido un papel de liderazgo en el desarrollo de programas empresariales enfocados a la eficiencia del uso de la energía en productos y edificios, en el reciclado, diseño para el entorno, reducción de desperdicios y auditoría ambiental. Las operaciones de Compaq minimizan los subproductos de la manufactura y la empresa ha puesto en práctica amplios programas de reciclaje para diversos materiales, incluyendo papel de oficina, latas de aluminio y desperdicios electrónicos.

En junio de 1997, se concedió a Compaq la Medalla de oro 1997 del World Environment Center por su desempeño y compromiso a un liderazgo ambiental de salud y de seguridad. En marzo de 1997, por segundo año consecutivo, el U.S. Environmental Protection Agency (EPA) nombró a Compaq "PC Partner of the Year". El premio reconoce los esfuerzos extraordinarios de Compaq para mejorar las características ambientales de sus productos, promover el programa Energy Star y ofrecer productos para computadoras que cumplen con Energy Star. Compaq participa en varios programas, incluyendo Green Lights para iluminación eficiente en energía y Energy Star Program para desarrollar computadoras eficientes en energía.

EFICIENCIA EN EL US DE LA ENERGÍA

Como parte del Energy Star Computer Program de la EPA, Compaq participa en un esfuerzo voluntario para diseñar la eficiencia energética en las computadoras, además de instruir a clientes y empleados en métodos que pueden reducir el consumo de energía. En 1995, 100% de las computadoras portátiles y monitores de escritorio cumplían con Energy Star y la empresa ha incorporado características de ahorro de energía en 100% de sus PC de escritorio.

RECICLAJE

Los equipos de ingeniería de Compaq constantemente están evaluando alternativas de diseño de producto que facilitarán el desarmado y proceso de reciclaje al final del ciclo de vida del producto. La empresa llama a este esfuerzo "Diseño para el entorno" (DFE, por sus siglas en inglés) y está ampliando el programa para que cubra todos los diseños de nuevos productos. El programa DFE incluye utilización de la energía, la capacidad de reciclaje de los materiales, el uso de materiales reciclados, la facilidad de desarmado y de reciclaje para reducir el impacto ambiental en todas las etapas de la vida del producto.

ELIMINACIÓN DE LOS DESPERDICIOS

Compaq también ha desarrollado y puesto en práctica un proceso de revisión total de eliminación y reciclaje de desperdicio para sus proveedores que incluye una inspección en domicilio y una auditoría del tratamiento, almacenamiento, disposición e instalaciones de reciclaje para el desperdicio industrial antes de uso. La meta de este programa es asegurar que Compaq identifica y utiliza instalaciones de tratamiento de desperdicios que operan de manera segura y responsable desde el punto de vista del entorno.

AUDITORÍA

Compaq vigila continuamente la mejora de sus programas ambientales a través de auditorías formales, así como de sus requerimientos de certificación (ISO 14000) de la Organización Internacional para la Estandarización (ISO).

Fuente: **www.compaq.com/inside/background/index.html.**

sancionados por oficinas gubernamentales, mientras que otros se llevan cabo voluntariamente. Grupos de intereses especiales han planteado boicots contra productos y servicios de empresas que dan un trato injusto a los empleados.

Estos programas son costosos. *Se cree que los programas de prestaciones para empleados son uno de los factores de mayor importancia en las ventajas relativas de costo con que cuentan las plantas automotrices japonesas en Estados Unidos y otros países, en comparación con las fábricas estadounidenses.* Pero la moral y productividad de los empleados, su reclutamiento y la conservación, la rotación de personal, la demanda de consumo para los productos de la empresa y el costo de defenderse contra demandas legales y boicots, todo ello queda afectado por las políticas hacia los empleados. La ética, el código de comportamiento de la empresa, que se considera como moralmente correcta o equivocada, también tiene su parte. Las prestaciones a los empleados y las políticas laborales de la empresa son de importancia estratégica, porque afecta profundamente la rentabilidad a largo plazo.

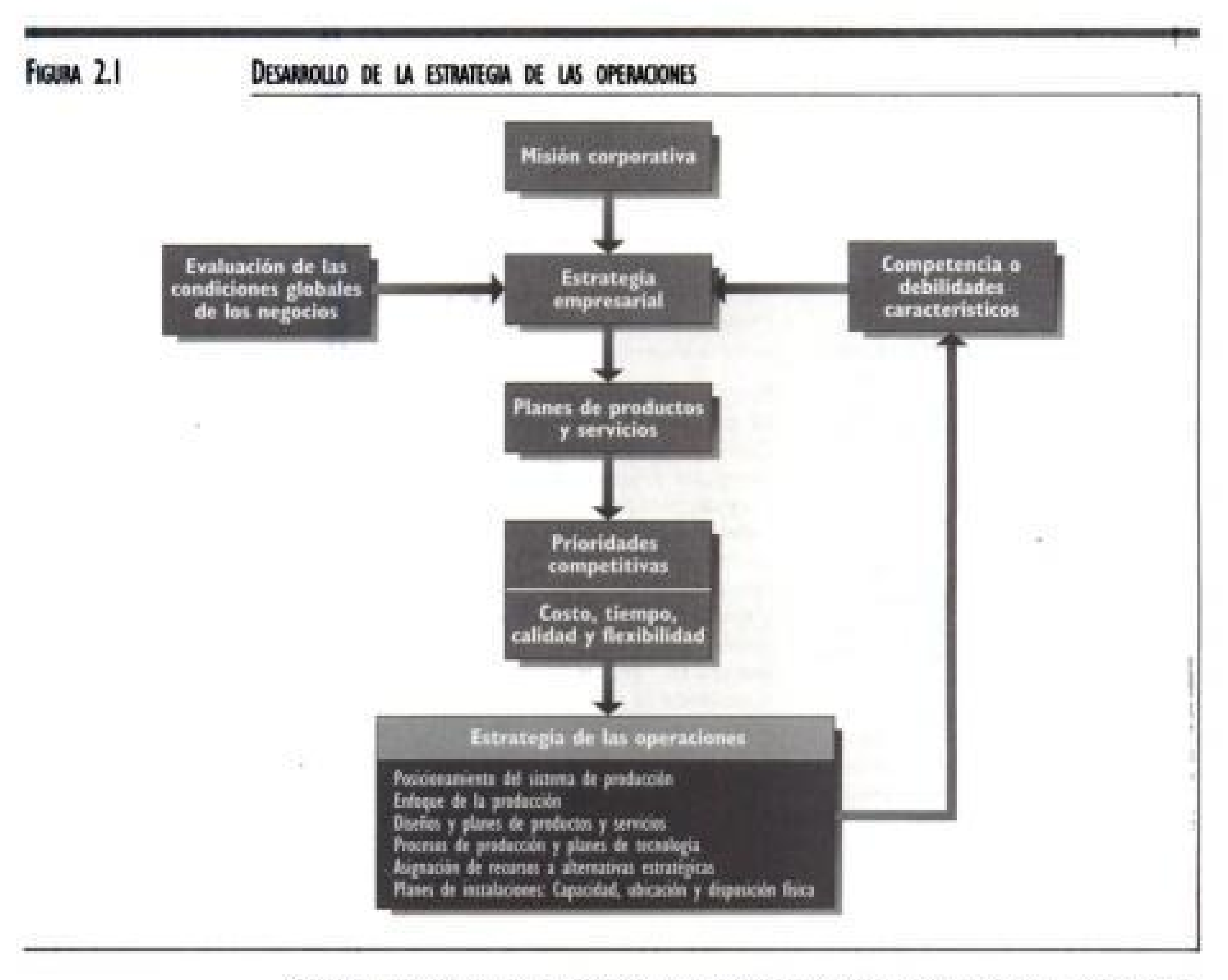


FIGURA 2.1 DESARROLLO DE LA ESTRATEGIA DE LAS OPERACIONES

Conforme evolucionan la sociedad y el mercado mundial, más y más empresas han declarado formalmente su intención de ser socialmente responsables. Piense en el compromiso expresado por Boeing de ser un buen ciudadano corporativo: "Proporcionaremos un lugar de trabajo seguro y protegeremos el entorno. Promoveremos la salud y bienestar de las personas Boeing y sus familias. Trabajaremos con nuestras comunidades participando voluntariamente y apoyando financieramente la educación y otras causas que lo merezcan".[24]

ESTRATEGIA DE LAS OPERACIONES

La figura 2.1 muestra que las estrategias de las operaciones son consecuencia directa de la misión corporativa y de la estrategia empresarial.

La misión corporativa es el conjunto de metas a largo plazo propio de cada organización y que incluye declaraciones sobre el tipo de negocio en el cual desea estar la empresa, quiénes son sus clientes, su credo fundamental sobre los negocios, así como sus metas de supervivencia, crecimiento y rentabilidad. ***La estrategia empresarial** es un plan de acción a largo plazo de una organización y proporciona un mapa de cómo lograr la misión corporativa.* Estas estrategias están incorporadas en el plan de negocios de la empresa, que incluye un plan para cada área funcional del negocio, incluyendo la producción, la mercadotecnia y las finanzas. La estrategia empresarial se desarrolla al mismo tiempo que se hace una evaluación de las condiciones globales del negocio y de los puntos fuertes o débiles distintivos de las unidades empresariales del mismo. Las condiciones empresariales globales incluyen factores como un análisis de los mercados, un análisis de la competencia en dichos mercados y los desarrollos económicos, políticos, tecnológicos y sociales.

TABLA 2.7 PRIORIDADES COMPETITIVAS

Prioridad competitiva	Definición	Algunas formas de creación
Costos bajos de producción	Costo unitario de cada producto o servicio, incluyendo costos por mano de obra, materiales y generales	Rediseño de los productos Nuevas tecnologías de producción Incremento en volúmenes y tasas de producción Reducción de desperdicio Reducción de inventarios
Desempeño en la entrega	Entrega rápida	Inventarios más grandes de productos terminados Tasas más elevadas de producción Métodos de embarque más rápidos
	Entrega a tiempo	Promesas más realistas Un mejor control de la producción de los pedidos Mejores sistemas de información
Productos o servicios de calidad elevada	Percepciones de los clientes del grado de excelencia exhibida por los productos o servicios	Mejorar lo siguiente en los productos o servicios: Apariencia Tasas de mal funcionamiento o de defectos Desempeño y función Capacidad de desgaste, durabilidad Servicio posventa
Servicio al cliente y flexibilidad	Capacidad de cambiar rápidamente la producción para ordenar productos o servicios y otros volúmenes de producción, sensibilidad a los clientes	Cambio en el tipo de proceso de producción utilizados Utilización de CAD/CAM Reducción de la cantidad de trabajo en proceso utilizando Justo a Tiempo Incremento en la capacidad de producción

Las **competencias distintivas** o los puntos débiles representan ventajas o desventajas competitivas importantes en la captura de los mercados. Podrían incluir factores como la tecnología automatizada de la producción, una fuerza de trabajo hábil y dedicada, la capacidad de poder poner rápidamente nuevos productos en producción, una fuerza de ventas talentosa o un equipo de producción desgastado. El enfoque central en la formación de una estrategia empresarial es encontrar maneras de capitalizar los puntos fuertes característicos de la empresa y de desarrollar nuevos, de forma que la participación en el mercado se pueda desarrollar o incrementar.

*La **estrategia de las operaciones** es un plan de acción a largo plazo para la elaboración de productos/servicios de una empresa y nos aporta un mapa de lo que debe hacer la función de producción si se han de lograr las estrategias empresariales.* Las estrategias de las operaciones incluyen decisiones en aspectos como los nuevos productos que deben desarrollarse y cuándo deben introducirse en la producción, qué nuevas instalaciones de producción son necesarias y cuándo lo son, y qué nuevas tecnologías y procesos de producción deben desarrollarse y cuándo son necesarias, y qué esquemas de producción serán los que seguirán la producción de productos y servicios.

Una mejor comprensión de las prioridades competitivas de la producción nos ayudará a entender el alcance de la estrategia de las operaciones.

PRIORIDADES COMPETITIVAS DE LA PRODUCCIÓN

La tabla 2.7 menciona las prioridades competitivas. Se puede considerar que son aquello que los clientes desean de los productos o servicios, por lo que se pueden utilizar como herramientas para capturar participación en el mercado. Pero, por lo general, no todas estas prioridades competitivas se pueden utilizar para un solo producto. Por ejemplo, una empresa pudiera no ser capaz de ofrecer gran flexibilidad y al mismo tiempo tener una producción a muy bajo costo. La estrategia empresarial determina la mezcla adecuada de estas prioridades para cada producto o servicio; *una vez establecidas esas prioridades competitivas, la estrategia de operaciones deberá determinar el sistema de producción necesario para conseguirlas.*

Elementos de la estrategia de operaciones

La estrategia de operaciones se analiza en las secciones siguientes: 1) posicionamiento del sistema de producción, 2) enfoque de la producción, 3) planes del producto o servicio, 4) planes de los procesos y tecnologías de la producción, 5) asignación de recursos a alternativas estratégicas, 6) planes de instalaciones: capacidad, ubicación y disposición física.

Posicionamiento del sistema de producción *El posicionamiento del sistema de producción en la manufactura quiere decir seleccionar el tipo de diseño del producto, el tipo de sistema de procesamiento de la producción y el tipo de política de inventario de productos terminados para cada grupo de productos en la estrategia empresarial.*

Hay dos tipos básicos de diseños de producto, sobre pedido y estándar. Los **productos sobre pedido**, o a la medida, se diseñan de acuerdo con las necesidades individuales del cliente. La elección de este tipo de producto da como resultado muchos productos, cada uno de ellos producido en lotes pequeños. Por lo general, para este tipo de producto es necesario tener flexibilidad y entrega oportuna. Como ejemplo tenemos un sistema de imágenes de resonancia magnética para un gran hospital. La elección de **productos estándar** resulta en pocos modelos de producto que se producen de manera continua o en lotes muy grandes. Por lo general, para este tipo de producto se necesita una entrega rápida y un costo de producción bajo. Un televisor es un ejemplo de producto estándar.

Hay dos tipos clásicos de procesos de producción: los enfocados al producto y los enfocados al proceso. La producción **enfocada al producto** también se conoce como producción de flujo en línea, líneas de producción y de ensamble. En este método, se agrupan las máquinas y los trabajadores necesarios para la elaboración de un producto. Por lo general, este tipo de producción es la mejor si sólo se fabrican unos cuantos productos estándar, cada uno de ellos de gran volumen. Las líneas de ensamble, como las de las fábricas de automóviles, son típicas de estos sistemas. Dado que por lo general es difícil y costoso modificar estos sistemas para otros diseños y volúmenes de producción, resultan poco flexibles. Por lo general, la producción **enfocada a los procesos** es la mejor cuando se producen muchos productos únicos, cada uno de un volumen relativamente bajo. Cada departamento de producción efectúa casi siempre un solo tipo de proceso, como por ejemplo pintura. Todos los productos que necesitan pintura serían transportados a ese departamento. Los productos hechos a la medida, o sobre pedido, comúnmente requieren este tipo de producción, porque los sistemas enfocados a los procesos son de modificación relativamente sencilla y económica para elaborar otros productos y volúmenes, ofreciendo por lo tanto gran flexibilidad. Si la estrategia del negocio requiere de productos a la medida, cuya estrategia de mercado exige prioridades competitivas de flexibilidad y entrega oportuna, entonces se prefiere la producción enfocada a los procesos.

Hay dos tipos de políticas de inventario de productos terminados: producir para inventario y producir según pedido. En la política de **producir para inventario**, los productos se fabrican por adelantado y se dejan en inventario. Luego, cuando se reciben las órdenes de venta de los productos, los productos se embarcan de inmediato tomándolos del inventario. En la política de **producir según pedido**, los gerentes de operaciones esperan hasta tener las órdenes de los clientes, para fabricar los productos. Si la rápida entrega de los productos es importante, entonces por lo general se prefiere la producción para inventario, porque los productos se pueden embarcar directamente del inventario de productos terminados. McDonald's tiene la política de producir para inventarios y Burger King (en su campaña "hágalo a su gusto") usa una política de producir según pedido.

Gran parte de la estructura requerida de una fábrica quedará establecida una vez seleccionado el tipo de diseño del producto, del proceso de producción y de política de inventario de productos terminados. Para seguir explorando la estructura de la fábrica, veamos el alcance de las operaciones de una de ellas.

Enfoque de la producción Elemento de importancia en la estrategia de las operaciones es un plan para que cada instalación de producción esté de alguna manera especializada. Wickham Skinner se refiere a esta idea de la fábrica especializada como **fábrica enfocada**: "Una fábrica enfocada a una mezcla reducida de productos para un nicho de mercado en particular funcionará mejor que una planta convencional que intenta una misión más amplia. Dado que su equipo, sus sistemas de apoyo y sus procedimientos se pueden concentrar a una tarea limi-

tada para un conjunto de clientes, sus costos y especialmente sus gastos generales probablemente serán inferiores a los correspondientes en una planta convencional. Pero, todavía de mayor importancia, este tipo de planta se puede convertir en un arma competitiva, ya que todo su aparato está enfocado a acompañar la tarea de manufactura en particular exigida por la estrategia general de la empresa y el objetivo de mercadotecnia".[25]

Durante los años 70 y 80 se dieron fusiones corporativas a una velocidad sin precedentes. En muchas de estas fusiones, se consolidaron operaciones en instalaciones de producción grandes, variadas y sin enfocar y, con demasiada frecuencia, el resultado era que no hacían nada particularmente bien. Hoy día, muchas instalaciones de producción estadounidense han reducido su tamaño y se han enfocado más. Un ejemplo de estas instalaciones más reducidas y más especializadas es la aparición de minilaminadoras en la industria de fabricación del acero de Estados Unidos. Estas laminadoras fabrican una gama muy reducida de productos de acero, están ubicadas cerca de sus mercados, utilizan cantidades importantes de metal de desperdicio o chatarra como material base y, por lo general, tienen planes de incentivos para sus empleados. Estas laminadoras más pequeñas han resultado ser muy rentables y están capturando una participación creciente del mercado estadounidense.

Por lo general existen dos maneras de mejorar el enfoque de las instalaciones de fabricación y de servicio: especializándose sólo en unos cuantos modelos de productos o en unos cuantos procesos de producción. *Resulta deseable que las fábricas y las instalaciones de servicio estén especializadas de alguna manera, de forma que no resulten vulnerables frente a competidores más pequeños y más especializados que pueden dar a un conjunto específico de clientes un mejor paquete de costo, entrega, calidad y desempeño del servicio al cliente.* Naturalmente, no podemos concluir que instalaciones más pequeñas serán siempre mejores. Al seleccionar el tamaño de las instalaciones de producción se tienen que tomar en consideración las economías de escala, como analizaremos en el capítulo 7, Planeación de la capacidad a largo plazo y ubicación de las instalaciones. A pesar de ello, se ha reconocido la tendencia de las instalaciones de producción estadounidense a ser grandes y pesadas.

Planes de productos/servicios Una parte importante de la estrategia empresarial son los planes para el diseño, desarrollo e introducción de nuevos productos y servicios. La estrategia de las operaciones está directamente influida por los planes de productos/servicios, por estas razones:

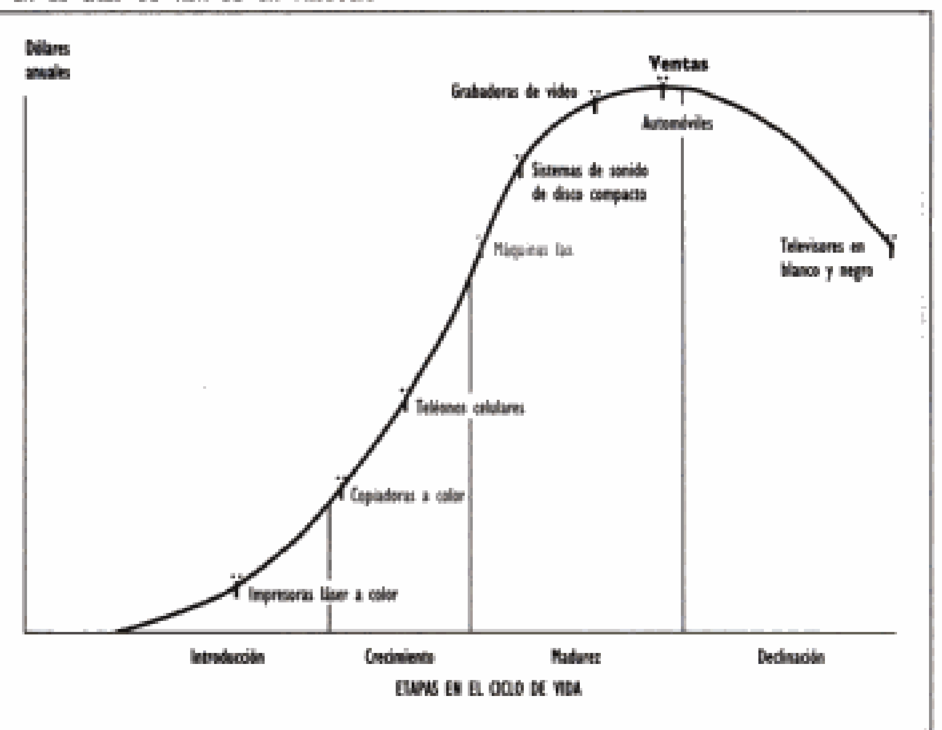
1. Al diseñar los productos, quedan establecidas todas las características de detalle de cada uno de los productos.
2. Cada característica del producto afecta directamente la forma en que puede ser fabricado o producido el producto.
3. La manera en que el producto se fabrica determina el diseño del sistema de producción, que es el corazón de la estrategia de las operaciones.

La figura 2.2 ilustra la idea del ciclo de vida de un producto. Conforme el producto se diseña y se desarrolla, entra en la etapa de **introducción** de su ciclo de vida. En esta etapa, las ventas se inician, se está desarrollando la producción y la mercadotecnia, y las utilidades son negativas. Los productos de éxito avanzan a la etapa de **crecimiento** donde las ventas crecen de manera dramática, los esfuerzos de mercadotecnia se intensifican, la producción se concentra en ampliar la capacidad con suficiente velocidad para hacer frente a la demanda y se inician las utilidades. A continuación viene la etapa de **madurez**, cuando la producción se concentra en producción, eficiencia y bajos costos a volúmenes elevados; la mercadotecnia cambia a promociones de ventas competitivas, dirigidas a incrementar o a conservar la penetración en el mercado, y las utilidades están en su máximo. Finalmente, el producto entra en la etapa de **declinación** de su ciclo de vida, que se caracteriza por utilidades y ventas en decremento. Eventualmente, el producto puede ser eliminado por la firma o ser reemplazado por productos mejores.

Una tendencia es hacia ciclos de vida de producto más breves, particularmente en industrias como las computadoras y los bienes de consumo. Los ciclos de vida de productos reducidos tienen tres efectos de importancia:

1. Se incrementa el desembolso en diseño y desarrollo del producto.
2. Los sistemas de producción tienen tendencia a sufrir oscilaciones al cambiar de manera continua los modelos de productos, lo que genera la necesidad de sistemas de producción flexibles, que puedan pasar fácilmente de uno a otro producto.

FIGURA 2.2 **ETAPAS EN EL CICLO DE VIDA DE UN PRODUCTO**



3. Las estrategias de las operaciones hacen énfasis en la capacidad de introducir con rapidez productos de nuevo diseño en el flujo. CAD/CAM, definidos y descritos en la tabla 2.6, están permitiendo a algunas empresas tener respuestas más rápidas al diseño y rediseño de productos y lanzarlos a producción con rapidez.

Estudiaremos más en relación con estos temas estratégicos en el capítulo 4, Diseño y desarrollo de productos y de procesos de producción.

Procesos de producción y planes de tecnología Una parte esencial de la estrategia de las operaciones es la determinación de la manera en que se fabricarán los productos, lo que involucra planear todos los detalles de los procesos e instalaciones de la producción. El rango de tecnologías de producción disponibles para producir tanto bienes como servicios es grande y en continuo crecimiento. Realmente resulta un reto la combinación de equipo de producción de alta tecnología con equipo convencional y el diseñar esquemas generales de producción eficaces. Un punto fuerte de importancia a utilizarse en la lucha de las empresas estadounidenses para capturar un segmento de los mercados mundiales es la tecnología automatizada de la producción. El capítulo 4, Diseño y desarrollo de productos y de procesos de producción, así como el capítulo 5, Tecnología de la producción, contienen los principios y temas de importancia relacionados con estos aspectos.

Asignación de recursos a alternativas estratégicas Todas las empresas sólo tienen disponibles para la producción recursos limitados. Efectivo y capital, capacidad, laboratorios de investigación, trabajadores, ingenieros, máquinas, materiales y otros recursos escasean en diverso grado en todas las empresas. Dado que en la mayor parte de las compañías la gran mayoría de sus recursos se utilizan en la producción, la carencia de estos recursos impacta con mayor severidad sus sistemas de producción. Estos recursos deben repartirse entre, o asignarse a, productos, unidades de negocio, proyectos, u oportunidades de utilidades, de forma que se maximicen los logros y los objetivos de las operaciones. Las decisiones de asignación, restringidas por la disponibilidad de los recursos, constituyen una clase común de decisión estratégica que debe ser tomada

por los gerentes de operaciones de hoy. Estas decisiones son de tal importancia que el capítulo 6, Asignación de recursos a alternativas estratégicas, está dedicado a su estudio.

Planes de las instalaciones: capacidad, ubicación y disposición física Una parte crítica del establecimiento de la estrategia de las operaciones es la forma de proporcionar una capacidad de producción a largo plazo para producir los productos/servicios para una empresa. Se requiere de una inversión enorme en capital para tener disponible una capacidad de producción. Pudiera ser necesario adquirir terrenos y equipo de producción, desarrollar tecnologías especializadas de producción, fabricar o adquirir e instalar nuevo equipo, así como ubicar y construir nuevas plantas. Las decisiones involucradas surten efecto a largo plazo y están sujetas a grandes riesgos. Si se toman decisiones inadecuadas o si las circunstancias cambian, una vez que la empresa se haya comprometido a una elección de alternativas, la empresa tendrá que vivir con los resultados de estas decisiones durante muchos años. En el capítulo 7, Planeación de la capacidad a largo plazo y ubicación de las instalaciones, está dedicado a estas decisiones. La organización interna de trabajadores, procesos de producción y departamentos dentro de las instalaciones es una parte vital de la estrategia de posicionamiento que afecta a la capacidad de proporcionar el volumen, calidad y costo deseado de los productos. El capítulo 8, Disposición física de las instalaciones, está dedicado a estas decisiones.

Si Estados Unidos ha aprendido algo de nuestros competidores del extranjero, es que la atención a los detalles de la producción tiene una importancia estratégica. La planeación eficaz de la fuerza de trabajo, mantener buenas relaciones laborales con los sindicatos, administrar el personal, efectuar entregas a tiempo, mantenerse al día en la administración de la calidad de los productos y conservar la maquinaria de producción en excelente calidad de operación, vistas en conjunto, pueden tener importancia similar a cualquiera de las decisiones estratégicas analizadas en esta sección. Muchos de estos temas se tratan en las Partes III y IV de este libro.

ESTRATEGIA DE LAS OPERACIONES EN LOS SERVICIOS

La mayor parte de lo que se ha analizado con relación a los elementos de la estrategia de las operaciones en esta sección se aplica igualmente tanto a la manufactura como a los servicios, pero hay algunas diferencias.

Características de los servicios y de los productos manufacturados La tabla 2.8 describe las características de los productos manufacturados/servicios, pero esta tabla en realidad describe los polos extremos de un continuo, porque si bien algunas organizaciones de servicio son notablemente distintas a las de manufactura, otros servicios pudieran ser muy parecidos a éstas. También, tanto las empresas de manufactura como las de servicio pueden proveer tanto productos tangibles como servicios intangibles. Por ejemplo, una organización de servicio como un restaurante proporciona alimento, un bien tangible, a los clientes. Un fabricante, como por ejemplo uno de computadoras, puede proporcionar servicios al cliente como asesoría técnica, crédito y reparaciones en el campo.

Los productos manufacturados son **bienes tangibles**, tienen forma física, pueden verse y palparse, y por lo general deben ser embarcados a los clientes. Los servicios, sin embargo, son **intangibles**, por lo general carecen de forma física. Su consumo a menudo es simultáneo con su producción.

Dado que los productos manufacturados son tangibles, se puede anticipar la demanda de los clientes y a menudo los productos pueden producirse, transportarse y conservarse en inventario hasta que los clientes los necesiten, lo que brinda flexibilidad a los fabricantes para decidir cuándo producir los productos. Los inventarios pueden utilizarse como amortiguador entre una capacidad de producción estable y una demanda de los clientes muy variable. Esto significa que cuando los niveles de producción se mantienen constantes, en periodos de baja demanda se elevarán los niveles de inventario de bienes terminados, y en periodos de demanda pico, los niveles de inventario de los productos terminados se reducirán. No queremos decir que todos los fabricantes hacen inventario de productos terminados, ya que algunos eligen esperar hasta que se soliciten los productos, y acto seguido producen los bienes y los embarcan directamente a los clientes. *Por lo general, los servicios no pueden producirse por adelantado a la demanda del cliente y deben entregarse a los clientes en el momento de la*

TABLA 2.8

CARACTERÍSTICAS DE LOS SERVICIOS Y DE LOS PRODUCTOS MANUFACTURADOS

Servicios	Poductos manufacturados
Resultados intangibles	Productos tangibles
Los resultados no se pueden guardar en inventario	Los productos pueden conservarse en inventario
Amplio contacto con el cliente	Poco contacto con el cliente
Tiempos de entrega cortos	Tiempos de entrega largos
Gran cantidad de mano de obra	Gran cantidad de capital
Calidad del servicio determinada de manera subjetiva	Calidad del producto determinada de manera objetiva

demanda o posteriormente. Esto significa que, por lo general, las operaciones de servicio deben planear niveles de producción que se acerquen o sean iguales a la demanda de los clientes.

Por lo general, los clientes, no se inmiscuyen en el proceso de manufactura; de hecho, en la mayoría de los casos, éstos tienen poco contacto con el sistema de manufactura. En las operaciones de servicio, sin embargo, los clientes de manera rutinaria quedan involucrados en la producción de muchos servicios. En hospitales, restaurantes y bancos, los usuarios entran al proceso de producción, son llevados a través de las operaciones de servicio que sean necesarias y salen del sistema de servicio. En prácticamente todos los servicios, el personal de operaciones necesita capacitación en habilidades de trato con las personas, porque el elemento clave del control de la calidad es la forma en la que el personal de las operaciones realiza sus transacciones con los clientes.

Los clientes tal vez quieran ordenar productos manufacturados mucho antes que los necesiten, porque los fabricantes pueden tomar varias semanas desde el momento en que se recibe el pedido hasta que se embarque el producto. Los servicios, por otra parte, quizá deban entregarse de inmediato en el punto en que los clientes desean el servicio. En servicios que tengan patrones de demanda muy irregulares, como los consultorios médicos, los clientes pudieran necesariamente tener que hacer citas por adelantado para nivelar la demanda, o si no, "tomar un número" para definir prioridades de procesamiento. Pero en servicios que requieren mucho tiempo para su generación, como por ejemplo en los departamentos de préstamos hipotecarios en los bancos, los usuarios deben colocar sus pedidos mucho antes de que se requiera el servicio.

Generalmente pensamos en los fabricantes como ubicados a cierta distancia de los clientes, muy automatizados, y con un uso muy intensivo del capital, como en el caso de una planta de ensamble automotriz, pero lo contrario también podría ser cierto, como en el caso de un pequeño fabricante regional de ropa. Por lo general se supone los servicios como localizados cerca de los clientes y con requerimentos de mucha mano de obra, aunque también pudiera ser cierto lo contrario, como en el caso de una empresa de servicios públicos eléctricos.

En la manufactura, la determinación del nivel de calidad de los productos por lo general se basa en evidencia objetiva. Una encuesta Gallup de compradores de automóviles indicó que los clientes estaban interesados en el rendimiento, durabilidad, facilidad de reparación, servicio y satisfacción del cliente de los productos. Los tres primeros elementos de la calidad del producto son medibles, ya que se puede presentar evidencia objetiva para determinar el nivel de calidad de los productos. Son el servicio al cliente y su satisfacción los difíciles de medir, y es en estos factores que las organizaciones de servicio deben basar gran parte de la determinación de la calidad de sus servicios. Ambiente agradable, personal amigable y cortés, velocidad en prestar el servicio, habilidad de la persona que efectúa la reparación, destreza del doctor, seriedad en el consejo del asesor financiero y otros factores resultan difíciles de medir, pero afectan la percepción de calidad de los servicios.

Dadas estas diferencias entre los productos manufacturados/servicios, analicemos ahora las clases de prioridades competitivas disponibles para los servicios.

Prioridades competitivas para los servicios La tabla 2.7 enlistó estas prioridades competitivas para empresas: costos de producción bajos, entrega rápida y a tiempo, productos y servicios de elevada calidad, y servicio al cliente. Todas las prioridades de la tabla 2.7 también están disponibles para las empresas de servicio, que rara vez pueden prestar o proporcionar todas las prioridades de manera simultánea a los clientes, y para cada servicio debe seleccionarse un conjunto de prioridades que consiga la máxima ventaja en el mercado. La decisión entre costo y calidad de servicio es

quizás la más evidente. Un detallista pequeño que haga énfasis en el contacto personal a los clientes puede tener servicios de elevada calidad, pero su costo puede resultar más elevado que el costo de sus competidores con descuentos por elevados volúmenes.

Estrategias de posicionamiento para los servicios Una estrategia de posicionamiento en la manufactura incluye la clase de política de inventarios de productos terminados (producir para inventarios o producir según pedido), clase de diseño de producto (estándar o sobre pedido), y clase de proceso de producción (enfocado al producto o enfocado al proceso). Esta estrategia de posicionamiento es imposible para los servicios, en razón de las diferencias que se enlistan en la tabla 2.8, y que determinan que una estrategia de posicionamiento para los servicios deba incluir:

1. El **tipo de diseño de servicio**, con varias dimensiones interesantes: productos estándar o sobre pedido, extensión del contacto con el cliente, y mezcla de bienes físicos con servicios intangibles.
2. **Tipo de proceso de producción:** cuasimanufactura, cliente como participante y cliente como producto.

Como se puede ver, la clase de diseño de servicio y de diseño de producción son muy diferentes de sus contrapartidas en la manufactura. McDonald's tiene una estrategia de posicionamiento muy eficiente, según se evidencia en su rentabilidad a largo plazo. Ha decidido proporcionar a los clientes un diseño de servicio altamente estandarizado, con un reducido contacto con el cliente y con los bienes físicos predominando sobre los servicios intangibles. Su proceso de producción de trastienda tiene una metodología cuasi manufactura. Burger King tiene sólo diferencias sutiles; la empresa del "hágalo a su gusto" proporciona a los clientes productos y servicios ligeramente más personalizados, y un contacto y una participación con los clientes ligeramente mayor.

Justo como en la manufactura, la estrategia de posicionamiento de la empresa de servicios determina cuál es la estructura del sistema de producción. Esta estructura es vital para el éxito de las organizaciones de servicio. Analizaremos adicionalmente el diseño del sistema de producción para los servicios en el capítulo 4, Diseño y desarrollo de productos y de procesos de producción.

Ahora que hemos examinado los elementos de la estrategia de las operaciones, veamos la forma en que seguiremos integrando estos elementos en una estrategia completa de las operaciones.

FORMULACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE LAS OPERACIONES

La formulación de la estrategia de las operaciones sigue el procedimiento de la figura 2.1. El núcleo central de la estrategia de las operaciones es la formulación de estrategias de posicionamiento (productos sobre pedido o estándar, producción enfocada al producto o a los procesos, producir para almacenar o producir de acuerdo con pedido), porque esto establece la estructura y capacidad fundamentales del sistema de producción. *Es vital que la estructura de operaciones determinada por la estrategia de posicionamiento quede vinculada a los planes de producción del producto y a las prioridades competitivas que quedaron definidas en la estrategia empresarial.* Esta vinculación asegura no sólo que la estrategia de las operaciones apoye la estrategia empresarial, sino también que la producción tome un papel protagónico y se pueda entonces utilizar como arma competitiva en la lucha para capturar penetración en los mercados mundiales.[26]

En esta sección analizamos la evolución de las estrategias de posicionamiento para los productos, vinculando las estrategias de las operaciones y de mercadotecnia y la diversidad de las estrategias de las operaciones.

EVOLUCIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE POSICIONAMIENTO

Hayes y Wheelwright sugirieron que las características de los sistemas de producción tienden a evolucionar conforme los productos van pasando por las diferentes etapas de sus ciclos de vida.[27] La figura 2.3 ilustra esta evolución. En las primeras etapas de este ciclo de vida, el producto, típicamente estará diseñado de manera personalizada y elaborado en lotes muy pequeños en una fábrica enfocada a los procesos y producido sobre pedido. Conforme crece la demanda por el producto en el mercado, se incrementa el tamaño de los lotes y el volumen del producto, y vemos la estrategia de posi-

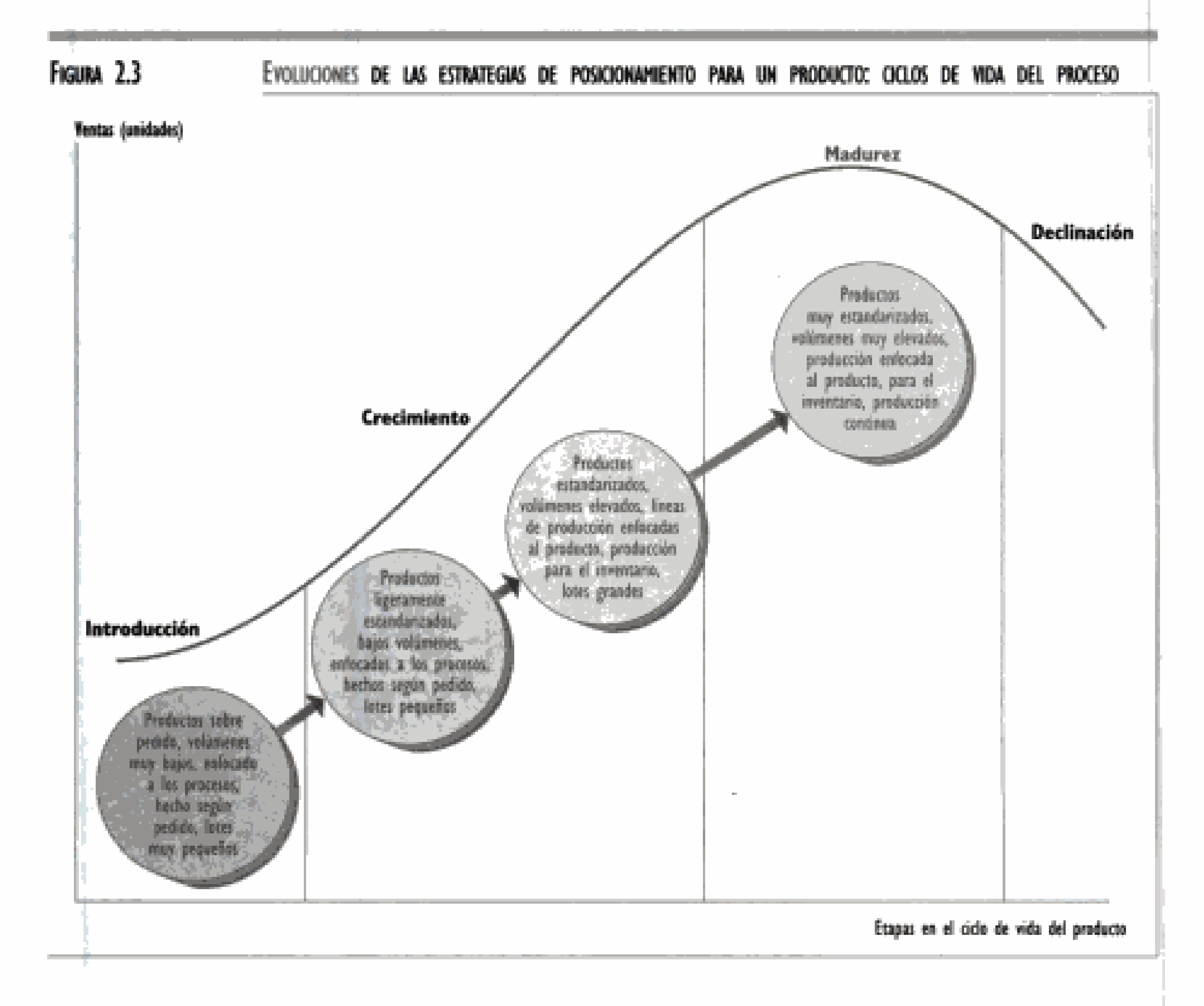


FIGURA 2.3 EVOLUCIONES DE LAS ESTRATEGIAS DE POSICIONAMIENTO PARA UN PRODUCTO: CICLOS DE VIDA DEL PROCESO

cionamiento desplazarse a una de un diseño de producto estándar, producido en fábricas enfocadas al producto, produciendo para el inventario. Finalmente, cuando la demanda del mercado por el producto llega a su madurez, el producto muy estandarizado se produce de manera continua a un volumen muy elevado en fábricas dedicadas enfocadas al producto, produciendo para el inventario.

El concepto ilustrado en la figura 2.3 se aplica a productos tradicionales nuevos, con ciclos de vida largos. Por lo general, los productos rediseñados no inician su ciclo de vida en la etapa de introducción; más bien se reintroducen al ciclo en la etapa aproximada del producto anterior que están reemplazando. Productos que tengan ciclos de vida particularmente cortos pudieran no seguir de manera precisa la evolución que se ilustra en la figura 2.3. Por ejemplo, el teléfono celular Motorola llegó a la etapa de madurez tan aprisa que el sistema de producción tuvo que diseñarse para la etapa de madurez muy poco después de su introducción.

El patrón de cambio que se ilustra en la figura 2.3 tiene implicaciones importantes para la estrategia de las operaciones. *Las estrategias de las operaciones deben incluir planes para la modificación de los sistemas de producción a un conjunto cambiante de prioridades competitivas conforme los productos maduran, y debe proveerse la tecnología de producción y el capital que se requiera para dar apoyo a estos cambios.*

VINCULACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE LAS OPERACIONES Y DE MERCADOTECNIA

La tabla 2.9 presenta dos estrategias de posicionamiento que son combinaciones de tipo de producto, tipo de proceso de producción y política de inventarios de productos terminados que general-

TABLA 2.9 ESTRATEGIAS DE POSICIONAMIENTO PURO

Tipo de producto	Tipo de proceso de producción	Política de inventarios de productos terminados
Estandarizado	Enfocado al producto	Producir para inventario
Sobre pedido	Enfocado al proceso	Producir sobre pedido

mente ocurren de manera conjunta. Éstas a menudo se conocen como **estrategias de posicionamiento puro**; otras combinaciones se identifican como estrategias de posicionamiento mixto.

La tabla 2.10 presenta un rango de estrategias de posicionamiento. En las tablas 2.9 y 2.10 se sugiere un principio importante: *Todos los elementos de la estrategia de las operaciones (estrategias de posicionamiento, enfoque de las instalaciones de producción, diseño del producto, planeación de las instalaciones y tecnología de la producción y planes de procesamiento) deben ser vinculados con cuidado. De mayor importancia aún, la estrategia de posicionamiento debe estar vinculada con la estrategia de la mercadotecnia.* Durante los años 70 y 80, muchos fabricantes no estadounidenses desarrollaron estrategias de posicionamiento puro (productos muy estándar, una producción enfocada al producto y producción para el almacén) para productos de consumo duradero producidos en masa. Esta estrategia de posicionamiento se coordinaba perfectamente con su estrategia de mercadotecnia, que se basaba en precio bajo, rápida entrega del producto y elevada calidad. Mientras, algunas empresas estadounidenses tenían estrategias empresariales que requerían que sus funciones de producción fueran de todo para todos, sin tomar en consideración la estructura del sistema de producción y sus estrategias de posicionamiento. Tal vez, estas estrategias empresariales no permitieron a los sis-

TABLA 2.10 VINCULACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE POSICIONAMIENTO CON LAS ESTRATEGIAS DE MERCADO

Algunas estrategias de posicionamiento comunes	Productos sobre pedido		Productos estandarizados	
	Volúmenes bajos	Volúmenes altos	Volúmenes bajos	Volúmenes altos
Enfocados al producto, producción para almacén				*Estrategia de mercado:* Competencia principalmente basada en el costo de producción, entrega rápida de los productos y calidad; *ejemplo:* televisores
Enfocados al producto, según pedido			*Estrategia de mercado:* Competencia basada principalmente en el costo de producción, en cumplir con las promesas de entrega y la calidad; *ejemplo:* autobuses escolares	
Enfocado al proceso, fabricación para el inventario		*Estrategia de mercado:* Competencia basada principalmente en la flexibilidad, calidad y entrega rápida de los productos; *ejemplo:* instrumentos médicos		
Enfocado al proceso, según pedido	*Estrategia de mercado:* Competencia basada principalmente en el cumplimiento de las promesas de entrega, la calidad y flexibilidad; *ejemplo:* grandes supercomputadoras			

temas de producción desarrollar estrategias de posicionamiento puro que pudieran haber competido con sus contrapartidas extranjeras, ya sea en costo o en calidad de los productos.

LA DIVERSIDAD DE ESTRATEGIAS PUEDE TENER ÉXITO

Como se puede observar en la figura 2.1, la estrategia de las operaciones debe resultar de una evaluación de las condiciones empresariales mundiales, las prioridades competitivas necesarias para capturar los segmentos del mercado y las competencias o debilidades distintivas de una empresa. La estrategia apropiada de las operaciones puede depender de las fuerzas o debilidades de una empresa. Dos empresas, cada una de ellas con diferentes fuerzas y debilidades, pueden desarrollar distintas estrategias de las operaciones para un mismo mercado y de manera sorprendente, ambas pueden tener éxito. Por ejemplo, Chrysler y General Motors durante los años 70. Aunque similares en muchos aspectos, Chrysler era más pequeña, con una buena comunicación entre distribuidores y fábricas, pero estaba muy escasa de capital. General Motors era enorme y rica en capital. Chrysler desarrolló una estrategia de posicionamiento para producir sobre pedido que requería menores niveles de inventario de productos terminados y menos capital, en tanto que GM se quedó con su estrategia de posicionamiento de producir para inventarios. Ambas estrategias de operaciones demostraron tener éxito a lo largo de la siguiente década, ya que GM conservó su enorme penetración en el mercado y Chrysler pudo salir de su crisis financiera. Sin embargo, durante los años 90 otros desarrollos cambiarían dramáticamente los destinos tanto de GM como de Chrysler.

Además de las fuerzas y debilidades de una empresa, la estrategia de las operaciones apropiada también podrá depender de la naturaleza de los productos de una empresa y de su sector industrial. Ya hemos analizado la forma como las prioridades competitivas y las estrategias de posicionamiento para los servicios tienden a ser distintas a las de la manufactura, en razón a las características de los servicios y de sus operaciones. De igual manera, los negocios pequeños, los negocios que inician y los negocios de alta tecnología por lo general desarrollarán estrategias de operaciones diferentes de las correspondientes a sus contrapartidas arriba citadas.

Por lo general, los negocios pequeños tienen escasez de todo, desde capital hasta habilidad de los empleados y capacidad de producción. Los fabricantes que inician y los fabricantes pequeños casi siempre prefieren estrategias de posicionamiento con productos sobre pedido, producción enfocada a los procesos y políticas de producir sobre pedido, ya que estos sistemas resultan más flexibles y se requiere de menos capital. Conforme sus productos pasan a través de los ciclos de vida, los sistemas de producción por lo general maduran hacia productos estándar, una producción enfocada al producto y políticas de producción para el inventario, si es que tienen que hacer frente a competencia de corporaciones más grandes.

Los servicios pequeños pueden competir con éxito con las grandes corporaciones al abrir en el mercado un nicho especial y hacer énfasis en un elevado nivel de contacto con el cliente para desarrollar una base de consumidores leales. Por ejemplo, cuando Wal-Mart llega a una ciudad, los pequeños detallistas que sobrevivan generalmente desarrollan puntos de venta de productos especializados donde el precio no es la prioridad competitiva principal y donde se hace énfasis en un servicio personal muy próximo a los clientes.

Para empresas en negocios que hacen uso intensivo de la tecnología, los ciclos de vida de los productos tienden a ser cortos y los sistemas de producción tienden a utilizar grandes cantidades de capital. Esto significa que los sistemas de producción deben ser capaces de producir nuevos productos y servicios en volúmenes elevados rápidamente después de su introducción. Los sistemas de producción en estos negocios deben ser muy flexibles y capaces de introducir rápidamente productos nuevos. Este tipo de empresas debe tener dos puntos fuertes clave si han de tener éxito: personal técnico muy capaz y capital suficiente.

La formulación de las estrategias de operaciones involucra tomar decisiones respecto a la estructura del sistema de producción, decisiones sobre el diseño del producto, sobre los procesos de producción, sobre las tecnologías de producción y las instalaciones para la producción. La Parte II de este libro se dedica a estas decisiones estratégicas.

Los fabricantes estadounidenses deben seguir mirando hacia el futuro. Conforme operan en un entorno caracterizado por un cambio rápido, deben establecer estrategias de operaciones basados en sus fuerzas actuales, reducir el impacto de sus debilidades, construir nuevas fuerzas y detectar cambios en las condiciones comerciales mundiales.

TABLA 2.11 ¿QUÉ TAN COMPETITIVOS SON LOS FABRICANTES ESTADOUNIDENSES EN RELACIÓN CON SUS COMPETIDORES DEL EXTRANJERO?

	Competitividad			
Capacidades competitivas	**Muy débil**	**Débil**	**Fuerte**	**Muy fuerte**
Personalización de los productos		X		
Amplia distribución de los productos			X	
Apoyo al producto			X	
Servicio posventa			X	
Entrega oportuna de los productos			X	
Entrega rápida de los productos			X	
Productos confiables				X
Elevado rendimiento de los productos			X	
Bajo número de defectos			X	
Línea de productos amplia			X	
Flexibilidad de la mezcla de producto		X		
Flexibilidad del volumen de producción		X		
Rápida introducción de nuevos productos	X			
Hacer cambios rápidos en el diseño del producto	X			
Precios competitivos	X			

Fuente: Miller, Jeffrey G. and Jay S. Kim. "Beyond the Quality Revolution: U.S. Manufacturing Strategy in the 1990s." *A Research Report of the Boston University School of Management Manufacturing Roundtable*, 1990, 5.

COMPETITIVIDAD DE LOS FABRICANTES ESTADOUNIDENSES

Hemos visto en la tabla 2.7 que la función de producción dentro de una empresa tiene disponibles las prioridades competitivas de un bajo costo de producción, entregas rápidas y oportunas, productos/servicios de elevada calidad y servicio al cliente. ¿Qué combinación de estas prioridades deberán emplearse para capturar las ventas de un producto en particular en los mercados mundiales? Es una pregunta complicada, cuya respuesta dependerá del análisis de la empresa sobre los mercados mundiales futuros, sobre sus propias fuerzas y debilidades en comparación con los de sus competidores, y de su punto de vista respecto a la importancia de cada una de las prioridades para incrementar o mantener penetración en el mercado y rentabilidad.

La tabla 2.11 muestra la manera de pensar de los ejecutivos estadounidenses sobre cómo se están comportando en relación con sus competidores del extranjero. Estos ejecutivos evalúan sus propias empresas en lo que se refiere a su capacidad de competir con cualquier fabricante en el mundo en relación con 15 factores que son simplemente una división más detallada de las prioridades competitivas de la tabla 2.7. Estudiando la tabla 2.11, quizás podamos tener una idea de qué prioridades competitivas enfatizarán las empresas estadounidenses en sus estrategias empresariales futuras. Los fabricantes de Estados Unidos creen que tienen ciertas ventajas competitivas sobre sus contrapartidas del extranjero. Entre estas ventajas, se pueden mencionar productos confiables, un elevado desempeño de los productos y un bajo número de defectos: todas ellas medidas de la calidad del producto. Otros puntos fuertes son la distribución del producto, el apoyo al producto, el servicio posventa y la entrega oportuna de los productos. Las empresas estadounidenses, sin duda, intentarán incrementar su penetración en los mercados mundiales desarrollando estrategias empresariales que exploten estas fortalezas.

Pero no todas son buenas noticias. Se descubren varias debilidades evidentes para los fabricantes de Estados Unidos, como la rápida introducción de productos nuevos, el hacer cambios rápidos en el diseño de los productos y flexibilidad en productos y volúmenes: todas ellas medidas de la flexibili-

dad de fabricación que lleva a un servicio al cliente. También, los costos y precios de los productos siguen siendo una debilidad competitiva de importancia. Las empresas estadounidenses están trabajando duro para reforzar sus capacidades de producción para hacerlas más flexibles y competitivas en costo y precio. Y deben de hacerlo, ya que los competidores del extranjero con seguridad desarrollarán estrategias empresariales que intenten explotar estas debilidades de los fabricantes estadounidenses.

Todo lo anterior significa que la batalla del futuro para una penetración en los mercados mundiales se llevará a cabo en gran medida con la producción, ya sea como un arma de competencia o como debilidad competitiva. Para las empresas estadounidenses que han tomado, o que tomarán los pasos necesarios para flexibilizar sus sistemas de producción y volverse competitivos en costo y precio, la producción será un arma decisiva que podrá emplearse para capturar porciones crecientes de los mercados mundiales. Las empresas estadounidenses que no lo han hecho, o que no lo hagan pronto, se encontrarán frente a la triste perspectiva de tener que luchar la batalla competitiva en pos de los mercados mundiales con una mano atada a la espalda.



RECOPILACIÓN

LO QUE HACEN LOS PRODUCTORES DE CLASE MUNDIAL

Los productores de clase mundial sobresalen en el desarrollo de estrategias empresariales y de las operaciones para capturar porciones crecientes de los mercados internacionales. Una amplia proporción de su personal contribuye al desarrollo de estos planes empresariales a largo plazo. No hay ninguna función específica de la organización que domine la planeación empresarial. El plan empresarial a largo plazo representa lo mejor en pensamiento y en análisis sobre lo que debe efectuarse para capturar porciones adicionales de los mercados mundiales. Debido a la solidez de sus procesos de planeación a largo plazo, los productores de clase mundial confían en invertir en todas las áreas de sus negocios para el largo plazo: capacitación e instrucción del personal, desarrollo de mercados, desarrollo de nuevos productos/servicios, fábricas y procesos de producción avanzados de alta tecnología, así como investigación y desarrollo. Estas inversiones los colocan en posición de explotar las oportunidades existentes en sus planes de negocios.

En particular, los productores de clase mundial:

- Ponen a los clientes en primer término. Son más sensibles a las necesidades de los clientes y están dispuestos a personalizar más los productos y a facilitar o a modificar los pedidos de los clientes.
- Poner más rápidamente nuevos productos/servicios en el mercado.
- Son productores con administración de la calidad total (TQM). Son conocidos por la calidad de sus productos/servicios; la calidad es enfatizada desde los más altos hasta los más bajos niveles de sus organizaciones.
- Tienen una elevada productividad de mano de obra y bajos costos de producción, iguales o mejores que su competencia.
- Mantienen muy poco inventario excedente.
- En general piensan de manera más global; mercadean los productos de manera global y compran sus suministros en todo el mundo.
- Adoptan y desarrollan rápidamente nuevas tecnologías de producción y ponen en práctica tecnologías probadas.
- Desarrollan instalaciones de producción especializadas y más enfocadas.
- Reducen las organizaciones para que sean esbeltas y flexibles para su adaptación a las condiciones mundiales en rápido cambio.
- Se resisten menos a establecer alianzas e inversiones conjuntas de tipo estratégico para explotar oportunidades mundiales.
- Toman en consideración los aspectos sociales relevantes al establecer sus estrategias.

PREGUNTAS DE REPASO Y ANÁLISIS

1. Explique lo que es *efectividad operacional.*
2. Organice los desarrollos que se enlistan en la tabla 2.1 en orden de importancia (en su opinión). Defienda su elección.
3. ¿Cuáles son los tres países más importantes para las exportaciones estadounidenses?
4. ¿Por qué es tan importante China para las exportaciones potenciales de Estados Unidos?
5. ¿Qué es ISO 14000?
6. Defina, describa y dé un ejemplo de producción compartida.
7. Analice los pros y los contra de las empresas estadounidenses utilizando la tecnología avanzada de la producción para combatir la competencia del extranjero.
8. ¿De qué manera las empresas del extranjero han cambiado su estrategia empresarial en años recientes?

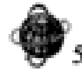
¿Qué factores han disparado estos cambios?

9. Suponga que un dólar podía comprar 125 yenes y dos años después un dólar podía comprar 150 yenes. Si el único factor en consideración fuera el cambio en las tasas de cambio, ¿subiría o bajaría el precio de un producto japonés vendido en Estados Unidos durante ese periodo? ¿En qué porcentaje cambiaría el precio?
10. ¿Qué consejo daría usted a los actuales gerentes en relación con el desarrollo de la estrategia de un negocio, dado que las condiciones financieras internacionales están cambiando con rapidez? Defienda su postura.
11. Dé evidencia de la superioridad de los sistemas de servicio en la economía estadounidense.
12. Nombre cinco recursos escasos para los sistemas de producción de hoy. ¿Qué pueden hacer los gerentes para combatir esta escasez?
13. Defina la misión corporativa, la estrategia empresarial y la estrategia de las operaciones.
14. ¿De qué manera se relaciona la estrategia de las operaciones con la estrategia empresarial? ¿De qué manera la estrategia de las operaciones influye sobre la estrategia empresarial?
15. Nombre y describa cuatro prioridades competitivas. Analice de qué manera se crean estas prioridades.
16. Defina y describa: a) posicionamiento del sistema de producción en la manufactura y en los servicios, b) enfoque de las instalaciones de fábrica y de servicio, c) procesos de producción y planes tecnológicos, d) asignación de recursos a alternativas estratégicas, e) planeación de instalaciones.
17. Defina y describa el concepto de ciclo de vida del producto. Dé un ejemplo de un producto para cada una de esas etapas.
18. Explique lo que significa "evolución de las estrategias de posicionamiento para los productos". ¿Cuál es el significado de este concepto en relación con la estrategia de las operaciones?
19. ¿Cuáles son las ventajas de una estrategia de posicionamiento "enfocada al producto, producto estandarizado, producir para el inventario"?
20. Defina, describa y dé un ejemplo de una estrategia de posicionamiento puro y de una estrategia de posicionamiento mixto.
21. Explique estos enunciados: a) "Todos los elementos de la estrategia de posicionamiento deben estar perfectamente coordinados con la estrategia de comercialización". b) "La estrategia de operaciones debe estar vinculada con los planes de productos/servicios y con las prioridades competitivas".
22. Resuma lo que hacen los productores de clase mundial en relación con las estrategias empresariales y de las operaciones.

TAREAS EN INTERNET



1. Busque en Internet un desarrollo reciente en o algún impacto del TLC. Escriba un breve resumen del desarrollo o del impacto y consigne la dirección http del sitio Web.
2. Realice una búsqueda en Internet para localizar alguna empresa estadounidense con operaciones en China. Describa el tipo de operaciones que esta empresa tiene en China e indique la dirección del sitio Web de la misma.
3. Realice una búsqueda en Internet para encontrar una descripción de los elementos ISO 14000. Resuma una descripción de estos componentes e indique la dirección del sitio Web.
4. Encuentre un ejemplo de alguna empresa que esté utilizando su sitio Web de Internet para informar al público sobre su posición o sus acciones en relación con responsabilidades ambientales o sociales. Imprima esta página Web e indique la dirección http del sitio Web.



5. Busque en el sitio Web de McDonald's (**www.mcdonalds.com**) para encontrar la cantidad de países en los cuales tiene restaurantes. ¿Cuántos restaurantes tiene McDonald's?

CASOS

ESTRATEGIA DE LAS OPERACIONES DE CSI EN EUROPA

Computer Specialties Inc. (CSI) está desarrollando su plan de negocios a cinco años. Los rápidos cambios en Europa han impulsado a la empresa a explorar maneras de producir y mercadear tres modelos de su computadora mainframe de tamaño medio en estos prometedores nuevos mercados. El plan para esta línea de producto exige una inversión conjunta con Sprecti Mache, empresa alemana especializada en la comercialización de productos técnicos a gobiernos y negocios tanto en Europa Occidental como Oriental. CSI sería responsable de la manufactura de las computadoras y

Sprecti las vendería. Durante dos años, mientras las instalaciones de manufactura en Europa se estén desarrollando, el plan requiere que los productos sean entregados desde las plantas de manufactura norteamericana de CSI. Las nuevas operaciones de manufactura en Europa se harán bajo CSI Europe, una nueva división internacional de CSI.

Tareas

1. Haga una lista de elementos que tendrán que ser incluidos en una estrategia de las operaciones para CSI Europe.
2. Enliste brevemente la información que usted necesitaría antes de desarrollar una estrategia de las operaciones para CSI Europe.
3. Para cada uno de los elementos de información incluidos en su lista para el número 2, sugiera formas en que se podría obtener dicha información.
4. Describa brevemente una estrategia de posicionamiento para CSI Europe. Indique todos los supuestos que usted haga sobre la empresa, sus productos y sus clientes.
5. Analice la importancia de la vinculación de los planes del producto, las prioridades competitivas y la estrategia de las operaciones.
6. Analice la importancia de vincular los planes de comercialización de Sprecti Mache con la estrategia de posicionamiento de CSI Europe.

NOTAS FINALES

1. www.dell.com/dell/whydell/index.htm.
2. www.dell.com/dell/success.htm.
3. www.usps.gov/history/five-year-plan/intro.html y www.usps.gov/history/five-year-plan/press.html.
4. Porter, Michael E. "What Is Strategy?" *Harvard Business Review* 74 (noviembre-diciembre 1996): 61–78.
5. *Ibid.*, pp. 61–78.
6. Hayes, Robert H., and Gary P. Pisano. "Beyond World-Class: The New Manufacturing Strategy." *Harvard Business Review* 72 (enero-febrero 1994): 77–86.
7. "Boeing Finally Seals Deal to Sell China 50 Planes", *Houston Chronicle*, 31 de octubre, 1997, 3C.
8. "GM Set to Build Buicks in China", *Arlington Morning News*, 23 de octubre , 1997, 1B.
9. "Motorola Stands by China: Patience is Key to Telecom's Fastest-Growing Market." *USA Today*, 3 de noviembre, 1997, 1B, 2B.
10. "Firms Ship Unit Headquarters Abroad." *Wall Street Journal*, 9 de diciembre, 1992, B1.
11. Toffler, Alvin. "USA Has a Bright Future, But Is 'Wounded Giant'." *USA Today*, 21 de noviembre, 1990, 15A.
12. Kuttner, Robert. "One Big, Happy Global Economy? Not Yet, Friend." *Business Week*, 15 de octubre, 1990, 18.
13. "International Business: Japan." *Business Week*, 18 de enero, 1993, 42.
14. Allen, William, Scripps Howard News Service. "World Car Is Here and Getting Even Worldlier." *Bryan-College Station Eagle*, 19 de marzo, 1988, 4C.
15. "The Extra Burden Carried by Detroit." *New York Times*, 25 de septiembre, 1990, C2.
16. Barney, Stewart. CNN's "Business Day". 29 de octubre, 1992.
17. "DuPont Sets a Charge of $5 Billion." *New York Times*, 5 de enero, 1993, C4.
18. "GM Plans to Unload Plants, 42,000 Jobs." *USA Today*, 17 de noviembre, 1997, 1B.
19. "National Downsizing Trend Being Downsized, Survey Says." *Houston Chronicle*, 22 de octubre, 1997, 4C.
20. "Scrambling to Manage a Diverse Work Force." *New York Times*, 15 de diciembre, 1992, A1.
21. "A Portrait of America." *Reinvesting America: Business Week 1992 Bonus Issue*, 1992, 51–58.
22. Cohen, Stephen S., and John Zysman. *Manufacturing Matters: The Myth of the Post-Industrial Economy*. New York: Basic Books, 1987.
23. Shostack, G. Lynn. "Designing Services That Deliver." *Harvard Business Review* (enero-febrero 1984): 133.
24. www.boeing.com/companyoffices/aboutus/mission/index.html.
25. Skinner, Wickham. "The Focused Factory." *Harvard Business Review* (mayo-junio 1974): 113.
26. Wheelwright, Steven C., and Robert H. Hayes. "Competing Through Manufacturing." *Harvard Business Review* (enero-febrero 1995): 99–109.
27. Hayes, Robert H., and Steven C. Wheelwright. "Link Manufacturing Process and Product Life Cycles." *Harvard Business Review* (enero-febrero 1979): 133–140.

BIBLIOGRAFÍA SELECCIONADA

Anderson, Kenneth R. *Ethics in Practice: Managing the Moral Corporation*. Boston: Harvard Business School Press, 1989.

Bowen, David E., Richard B. Chase, Thomas G. Cummings, y Asociados. *Service Management Effectiveness: Balancing Strategy, Organization and Human Resources, Operations, and Marketing*. San Francisco: Jossey Bass, 1990.

Cattanach, Robert E., Jake M. Holdreith, Daniel P. Reinke, y Larry K. Sibik. *The Handbook of Environmentally Conscious Manufacturing*. Chicago: Irwin Professional Publishing, 1995.

Etienne-Hamilton, E. C. *Managing World-Class Service Business*. Cincinnati, OH: South-Western College Publishing, 1998.

Flattery, M. Thérèse. *Global Operations Management*. Nueva York: McGraw-Hill, 1996.

Garvin, David A. *Operations Strategy: Text and Cases*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1992

Hart, Stuart L. "Beyond Greening: Strategies for a Sustainable World." *Harvard Business Review* 75 (enero-febrero 1997): 66–76.

Hayes, Robert H., y Gary P. Pisano. "Beyond World-Class: The New Manufacturing Strategy." *Harvard Business Review* 72 (enero-febrero 1994): 77–86.

Hayes, Robert H., and Steven C. Wheelwright. "Link Manufacturing Process and Product Life Cycles." *Harvard Business Review* 57 (enero-febrero 1979): 133–140.

Hill, Terry. *Manufacturing Strategy Text and Cases*. Homewood, IL: Dow Jones–Irwin, 1989.

Long, Frederick J., y Matthew B. Arnold. *The Power of Environmental Partnerships*. Fort Worth, TX: The Dryden Press, 1995.

Lovelock, Christopher H., y George S. Yip. "Developing Global Strategies for Service Businesses." *California Management Review* 38, no. 2 (invierno 1996): 64–86.

Porter, Michael E. "What is Strategy?" *Harvard Business Review* 74 (noviembre-diciembre 1996): 61–78.

Sayre, Don. *Inside ISO 14000*. Boca Raton, FL: St. Lucie Press, 1996.

Schmenner, Roger W. *Service Operations Management*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1995.

Schonberger, Richard J. *World Class Manufacturing: The Next Decade*. New York: The Free Press, 1996.

Skinner, Wickham. "The Focused Factory." *Harvard Business Review* 52 (mayo-junio 1974): 113–121.

———. *Manufacturing: The Formidable Competitive Weapon*. New York: Wiley, 1985.

Stobaugh, Robert, y Piero Telesio. "Match Manufacturing Policies and Product Strategies." *Harvard Business Review* 61 (marzo-abril 1983): 113–120.

Van Biema, Michael, y Bruce Greenwald. "Managing Our Way to Higher Service-Sector Productivity." *Harvard Business Review* 75 (julio-agosto 1997): 87–95.

Walley, Noah y Bradley Whitehead. "It's Not Easy Being Green." *Harvard Business Review* 72 (mayo-junio 1994): 46–52.

Wheelwright, Steven C., y Robert H. Hayes. "Competing Through Manufacturing." *Harvard Business Review* 63 (enero-febrero 1985): 99–109.

"When Green Begets Green." *Business Week*, 10 de noviembre, 1997, 98–106.

Witt, Chris, y Alan Muhlemann. *Service Operations Management: Strategy, Design and Delivery*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1997.

Capítulo 3

Los pronósticos en la administración de la producción y de las operaciones: *punto de partida de toda planeación*



Introducción

Métodos cualitativos de pronóstico

Modelos cuantitativos de pronóstico
Precisión del pronóstico
Pronósticos a largo plazo
Ciclos, tendencias y estacionalidad • Regresión lineal y correlación • Rangos de los pronósticos • Estacionalidad en los pronósticos de series de tiempo
Pronósticos a corto plazo
Evaluación del desempeño del modelo de pronóstico • Pronósticos ingenuos • Método de los promedios móviles • Método de los promedios móviles ponderados • Método de suavización exponencial • Suavización exponencial con tendencia

Cómo tener un método de pronóstico exitoso
Cómo seleccionar un método de pronóstico
Costo y precisión • Datos disponibles • Tiempo • Naturaleza de productos y servicios • Respuesta de impulso y amortiguación de ruido
Cómo monitorear y controlar un modelo de pronóstico

Software para los pronósticos

Pronósticos en pequeñas empresas y en negocios que inician

Recopilación: Lo que hacen los productores de clase mundial

Preguntas de repaso y análisis

Tareas en Internet

Problemas

Casos
San Diego Retailers
Chasewood Apartments
Sundance Chemical Company
XYZ Inc.

Notas finales

Bibliografía seleccionada

COMPAQ PRONOSTICA EL MERCADO DE LAS COMPUTADORAS PERSONALES

A mediados de los años 80, Compaq Computer Corporation tuvo que encarar una decisión que afectaría profundamente su futuro. Sabiendo que IBM introduciría pronto su versión de computadora portátil y amenazaría el dominio de disfrutaba Compaq en este mercado tan rentable, la empresa podía optar entre conservar sus computadoras portátiles, o podría expandir su oferta en el mercado para incluir computadoras de escritorio. Este último paso obligaría a la empresa formada hacía sólo un año a enfrentarse con IBM en su propio territorio. Y lo que es más, Compaq tendría que efectuar una inversión sustancial en el desarrollo del producto y en capital de trabajo y expandir su organización y capacidad de manufactura.

Los pronósticos de Compaq sobre tamaño, dirección y tendencias de precios del mercado de computadoras personales se vieron complicados por estos factores: la entrada de la nueva computadora portátil de IBM, una reducción de precio de 23% hecha por IBM y la correspondiente erosión potencial de los márgenes, la entrada al mercado de las portátiles por Hewlett-Packard y Data General, el lanzamiento de la nueva PC de IBM, la AT, y la introducción de computadoras de escritorio por Sperry, NCR, ITT y AT&T.

Compaq decidió entrar en el segmento de escritorio de este mercado y tuvo éxito tanto financiera como competitivamente. Partiendo de ventas por 111 millones de dólares en 1983, el crecimiento en las ventas de Compaq ha sido tremendo. En 1984 alcanzó 329 millones de dólares; 1,200 millones de dólares en 1988; 3,600 millones de dólares en 1991; 12,600 millones de dólares en 1994, y 20,000 millones de dólares en 1996. En septiembre de 1997, Compaq era la líder en la industria de las computadoras en ventas de computadoras notebook, con una penetración de 28.8% en el mercado, por delante de Toshiba por primera vez en computadoras de ese tipo. En el tercer trimestre de 1997, Compaq resultó ser el productor más grande del mundo de computadoras personales, con una penetración en el mercado mundial de 13.7%, y en el mercado estadounidense de 19.1%, en comparación con 10.2% de penetración en el mercado mundial y de 14.4% en el mercado estadounidense durante el año anterior.

La administración de Compaq atribuye gran parte de este éxito a su capacidad de pronosticar correctamente los mercados futuros. Su metodología de pronóstico permitió a Compaq poner en práctica sus planes para desarrollar productos nuevos, para desarrollar tecnologías de producto y expandir su producción.[1-4]

Es imperativo que las empresas tengan enfoques eficaces de pronóstico y que el pronóstico forme parte integral de la planeación empresarial. Cuando los gerentes planean, determinan hoy los cursos de acción que tomarían en el futuro. *Por lo tanto, el primer paso en la planeación es el* **pronóstico,** *es decir, estimar la demanda futura de productos y servicios y los recursos necesarios para producirlos.* Las estimaciones de la demanda para productos y servicios por lo general se conocen como **pronósticos de ventas**, que en la administración de la producción y de las operaciones constituye el punto de partida de todos los demás pronósticos.

Los gerentes de operaciones necesitan pronósticos a largo plazo para tomar decisiones estratégicas relacionadas con productos, procesos e instalaciones. También necesitan pronósticos a corto plazo que los ayuden a la toma de decisiones en problemas de producción que sólo abarcan las siguientes pocas semanas. La tabla 3.1 resume algunas de las razones por las cuales los gerentes de operaciones deben desarrollar pronósticos. La tabla 3.2 cita algunos ejemplos de factores comúnmente pronosticados en la administración de la producción y de las operaciones. Los pronósticos a largo plazo por lo general abarcan un año o más, y estiman la demanda de la totalidad de líneas de producto, como por ejemplo productos para jardinería. Los pronósticos a rango medio por lo general abarcan varios meses, y agrupan productos en familias de productos, como por ejemplo segadoras de pasto. Los pronósticos a corto plazo por lo general abarcan unas pocas semanas y se enfocan a productos específicos, como el modelo de segadora de pasto #3559.

La figura 3.1 ilustra que el pronóstico forma parte integral de la planeación de los negocios. Los insumos se procesan a través de modelos o métodos de pronóstico para el desarrollo de estimaciones de la demanda. *Estas estimaciones de la demanda no son los pronósticos de ventas; más bien son el punto de partida para que los equipos administrativos desarrollen los pronósticos de ventas.* Los pronósticos de ventas se convierten en los insumos tanto para la estrategia empresarial como para los pronósticos de los recursos de la producción.

TABLA 3.1 ALGUNAS RAZONES POR LAS CUALES LOS PRONÓSTICOS SON ESENCIALES EN LA ADMINISTRACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y DE LAS OPERACIONES

1. **Planeación de nuevas instalaciones.** Puede tomar hasta cinco años diseñar y construir una fábrica nueva, o hacer un nuevo diseño y poner en práctica un nuevo proceso de producción. Estas actividades estratégicas en la administración de la producción y de las operaciones requieren del pronóstico a largo plazo de la demanda de productos existentes y nuevos, de forma que los gerentes de operaciones puedan tener por anticipado suficiente tiempo para construir fábricas e instalar procesos a fin de poder producir los productos y servicios cuando éstos se requieran.
2. **Planeación de la producción.** La demanda de productos y servicios varía de un mes a otro. Para cumplir con estas demandas, las tasas de producción se deben elevar o reducir. Puede tomar varios meses modificar la capacidad de los procesos de producción. Los gerentes de operaciones necesitan pronósticos a mediano plazo, de forma que puedan conocer por anticipado el tiempo necesario para tener lista la capacidad de producción para producir estas demandas mensuales variables.
3. **Programación de la fuerza de trabajo.** Las demandas de productos y servicios varían de una semana a la siguiente. La fuerza de trabajo debe aumentarse o reducirse para adecuarse a estas demandas, reasignándola, usando tiempo extra, con despidos o con contrataciones. Los gerentes de operaciones necesitan pronósticos a corto plazo, de manera que tengan el tiempo suficiente para efectuar los cambios en la fuerza de trabajo necesarios para producir las demandas semanales.

TABLA 3.2 ALGUNOS EJEMPLOS DE FACTORES QUE DEBEN PRONOSTICARSE EN LA ADMINISTRACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y DE LAS OPERACIONES

Horizonte de pronóstico	Rango de tiempo	Ejemplos de factores que deben pronosticarse	Algunas unidades de pronóstico típicas
Largo plazo	Años	Nuevas líneas de productos	Dólares
		Líneas actuales de productos	Dólares
		Capacidades de fábrica	Galones, horas, libras, unidades o clientes por periodo
		Fondos de capital	Dólares
		Necesidades de instalaciones	Espacios, volúmenes
Mediano plazo	Meses	Grupos de productos	Unidades
		Capacidades departamentales	Horas, golpes, libras, galones, unidades o clientes por periodo
		Fuerza de trabajo	Trabajadores, horas
		Materiales comprados	Unidades, libras, galones
		Existencias o inventarios	Unidades, dólares
Corto plazo	Semanas	Productos específicos	Unidades
		Tipos de habilidades y mano de obra	Trabajadores, horas
		Capacidades de máquinas	Unidades, horas, galones, golpes, libras o clientes por periodo
		Efectivo	Dólares
		Inventarios	Unidades, dólares

Los métodos o modelos de pronóstico pueden ser de naturaleza cualitativa o cuantitativa.

MÉTODOS CUALITATIVOS DE PRONÓSTICO

La tabla 3.3 describe varios métodos cualitativos de pronóstico utilizados para el desarrollo de pronósticos de ventas. Estos métodos generalmente se basan en juicios respecto a los factores causales subyacentes a la venta de los productos y servicios en particular, y en opiniones sobre la posibilidad relativa que estos factores causales sigan presentes en el futuro, y pueden involucrar diversos niveles de complejidad, desde encuestas de opinión científicamente conducidas a estimaciones intuitivas respecto a eventos futuros.

El **consenso de comité ejecutivo** y el **método de Delfos** describen procedimientos para la asimilación de la información dentro de un comité para generar un pronóstico de ventas y son útiles tanto para productos o servicios existentes como nuevos. Por otra parte, la **encuesta a la fuerza**

FIGURA 3.1 PRONÓSTICO COMO PARTE INTEGRAL DE LA PLANEACIÓN EMPRESARIAL

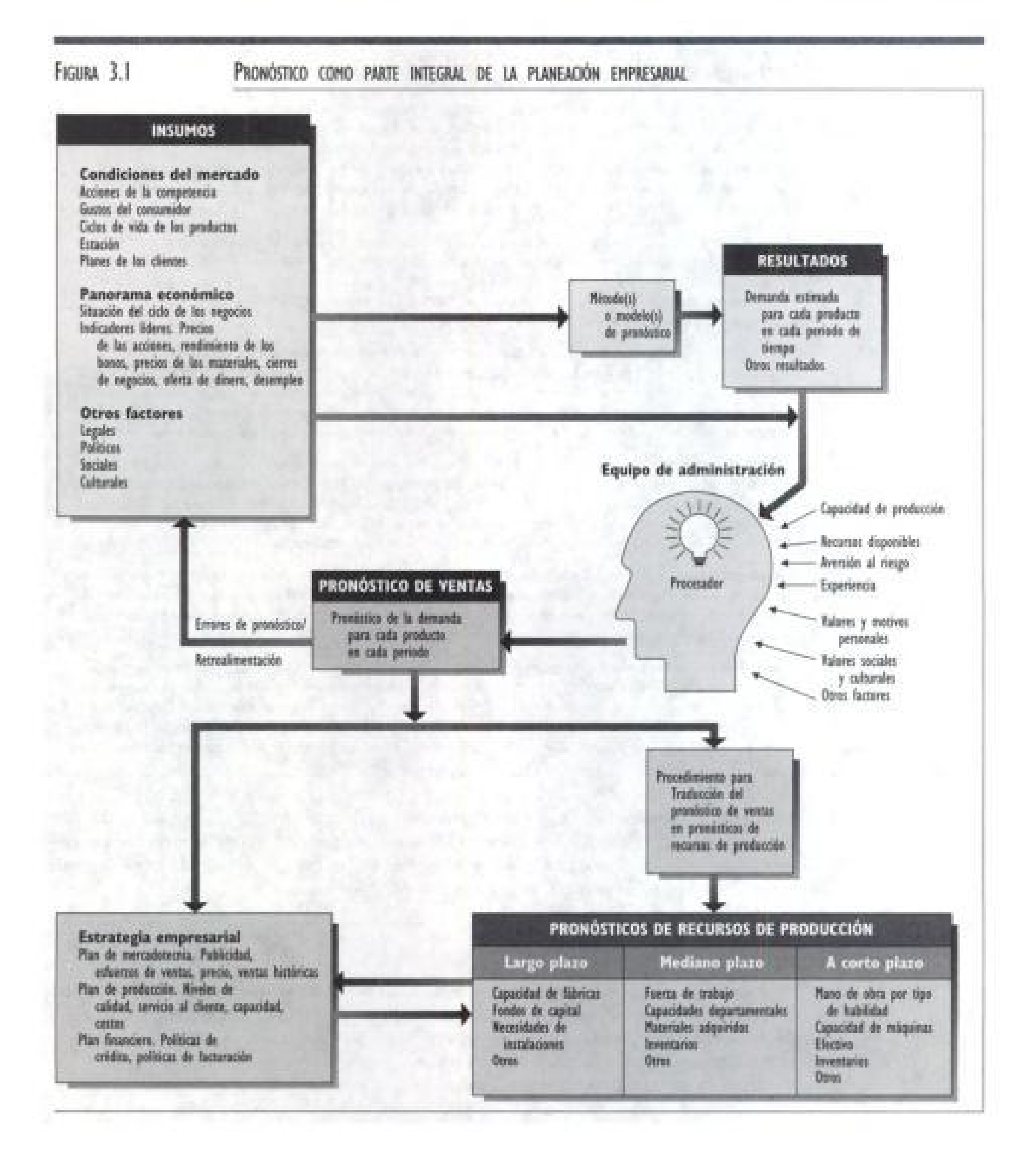


TABLA 3.3 MÉTODOS CUALITATIVOS DE PRONÓSTICO

1. **Consenso de comité ejecutivo.** Ejecutivos experimentados de diversos departamentos dentro de la organización forman un comité responsable de desarrollar un pronóstico de ventas. El comité puede utilizar información proveniente de todos los ámbitos de la organización, y puede utilizar analistas de apoyo que proporcionen estudios según se requiera. Este tipo de pronóstico tiene tendencia a ser un pronóstico negociado, que por lo tanto no refleja situaciones extremas que pudieran estar presentes de haber sido preparados por una persona. Este procedimiento es el método de pronóstico más común.
2. **Método de Delfos.** Este método se utiliza para lograr un consenso dentro de un comité. En este método, los ejecutivos responden anónimamente a una serie de preguntas en sesiones sucesivas. Cada respuesta se retroalimenta en cada sesión a todos los participantes, y entonces el proceso se repite. Pudieran requerirse hasta seis sesiones antes de alcanzar consenso sobre el pronóstico. Este método puede dar como resultado pronósticos en los que la mayoría de los participantes están finalmente de acuerdo, a pesar de su desacuerdo inicial.
3. **Encuesta a la fuerza de ventas.** Las estimaciones de ventas futuras regionales se obtienen individualmente a partir de cada uno de los miembros de la fuerza de ventas. Estas estimaciones se combinan a fin de elaborar una estimación de las ventas en todas las regiones. Para asegurar estimaciones realistas, los gerentes deben entonces transformar esta estimación en un pronóstico de ventas. Se trata un método de pronóstico popular en aquellas empresas que tienen un buen sistema de comunicación y vendedores que atienden directamente a los clientes.
4. **Encuestas a clientes.** Las estimaciones de las ventas futuras se obtienen directamente de los clientes, a quienes se encuesta individualmente para determinar los volúmenes de productos que la empresa pretende adquirir en cada periodo en el futuro y se prepara un pronóstico de ventas combinando las respuestas individuales de los clientes. Este método puede ser el preferido en empresas con relativamente pocos clientes, como los proveedores de la industria automotriz y los contratistas para las fuerzas armadas.
5. **Analogía histórica.** Este método liga la estimación de las ventas futuras de un producto con el conocimiento de las ventas de un producto similar. A la estimación de las ventas de un producto se aplica el conocimiento de las ventas de un producto similar durante varias etapas de su ciclo de vida. Este método puede ser particularmente útil en el pronóstico de ventas de productos nuevos.
6. **Investigación de mercado.** En las encuestas de mercado, la base para comprobar las hipótesis sobre los mercados reales son los cuestionarios por correo, las entrevistas telefónicas o las entrevistas de campo. En las **pruebas de mercado**, los productos mercadeados en regiones objetivo o en puntos de venta objetivo se extrapolan de manera estadística a fin de que abarquen la totalidad del mercado. Por lo general, estos métodos son los preferidos para productos nuevos o para los ya existentes que se planea introducir en nuevos segmentos del mercado.

de trabajo y la **encuesta a clientes** describen métodos principalmente utilizados para productos y servicios existentes. La **analogía histórica** y las **investigaciones y pruebas de mercado** son procedimientos útiles para productos y servicios nuevos. Por lo tanto, el método de pronóstico más apropiado dependerá de la etapa del ciclo de vida del producto.

MODELOS CUANTITATIVOS DE PRONÓSTICO

Los modelos cuantitativos de pronóstico son modelos matemáticos que se basan en datos históricos. Estos modelos suponen que los datos históricos son relevantes para el futuro. Casi siempre puede obtenerse información pertinente al respecto. Aquí, analizaremos varios modelos cuantitativos, la precisión del pronóstico, pronósticos a largo plazo y pronósticos a corto plazo.

La tabla 3.4 muestra los modelos cuantitativos de pronóstico que estudiaremos en este capítulo. Aunque existen muchos más modelos cuantitativos de pronóstico, los modelos de la tabla 3.4 son una útil introducción a los pronósticos en la administración de la producción y de las operaciones. Todos estos modelos se pueden utilizar con series de tiempo. Una **serie de tiempo** es un conjunto de valores observados medidos durante periodos sucesivos.

PRECISIÓN DEL PRONÓSTICO

La **precisión del pronóstico** se refiere a lo aproximado que los pronósticos resultan en comparación con los datos reales. Dado que los pronósticos se preparan *antes* de conocer los datos reales, la precisión de los pronósticos sólo se puede determinar después de que haya transcurrido el tiempo. Si los valores del pronóstico quedan muy cerca de los datos reales, decimos que tie-

TABLA 3.4 **ALGUNOS MODELOS CUANTITATIVOS DE PRONÓSTICO**

1. **Regresión lineal.** Modelo que utiliza el método de los mínimos cuadrados para identificar la relación entre una variable dependiente y una o más variables independientes, presentes en un conjunto de observaciones históricas. En la regresión simple, sólo hay una variable independiente; en la regresión múltiple, hay más de una variable independiente. Si los datos históricos forman una serie de tiempo, la variable independiente es el periodo y la variable dependiente en, por ejemplo, un pronóstico de ventas, son las ventas. Un modelo de regresión no necesariamente tiene que estar basado en una serie de tiempo, pues en estos casos el conocimiento de los valores futuros de la variable independiente (llamada también **variable causal**) se utiliza para predecir valores futuros de la variable dependiente. Por lo general, la regresión lineal se utiliza en el pronóstico a largo plazo, pero si se tiene cuidado al seleccionar la cantidad de periodos incluidos en los datos históricos, y este conjunto de datos se proyecta sólo unos cuantos periodos en el futuro, la regresión también puede utilizarse apropiadamente en pronósticos a corto plazo. La regresión supone una casi normalidad. Lo que quiere decir que los valores observados de la variable dependiente (y) se supone estarán distribuidos normalmente a ambos lados de su media ($\bar{y}$) y el error estándar del pronóstico (s_{yx}) es constante conforme nos movamos a lo largo de la línea de tendencia.
2. **Promedios móviles.** Modelo de pronóstico del tipo de series de tiempo a corto plazo que pronostica las ventas para el siguiente periodo. En este modelo, el promedio aritmético de las ventas reales para un determinado número de los periodos pasados más recientes es el pronóstico para el siguiente periodo.
3. **Promedio móvil ponderado.** Modelo parecido al modelo de promedio móvil arriba descrito, excepto que el pronóstico para el siguiente periodo es un promedio ponderado de las ventas pasadas, en lugar del promedio aritmético.
4. **Suavización exponencial.** Modelo también de pronóstico de series de tiempo a corto plazo que pronostica las ventas para el siguiente periodo. En este método, las ventas pronosticadas para el último periodo se modifican utilizando la información correspondiente al error de pronóstico del último periodo. Esta modificación del pronóstico del último periodo se utiliza como pronóstico para el siguiente periodo.
5. **Suavización exponencial con tendencia.** El modelo de suavización exponencial arriba descrito, pero modificado para tomar en consideración datos con un patrón de tendencia. Estos patrones pueden estar presentes en datos a mediano plazo. También se conoce como **suavización exponencial doble**, ya que se suavizan tanto la estimación del promedio como la estimación de la tendencia utilizando dos constantes de suavización.

nen una **elevada precisión** o que el **error de pronóstico** es bajo. Determinamos la precisión de los modelos de pronóstico haciendo una cuenta acumulada de lo que se han equivocado los pronósticos en relación con los datos reales a través del tiempo. Si la precisión de un modelo es baja, modificamos el método o escogemos uno nuevo. Posteriormente en este capítulo, analizaremos maneras de medir y monitorear el desempeño de los modelos de pronóstico.

PRONÓSTICOS A LARGO PLAZO

El **pronóstico a largo plazo** incorpora la estimación de condiciones futuras a lo largo de lapsos que por lo general son mayores a un año. Los pronósticos a largo plazo son necesarios en la administración de la producción y de las operaciones para dar apoyo a decisiones estratégicas sobre planeación de productos, procesos, tecnologías e instalaciones, temas tratados en la Parte II de este libro. Estas decisiones son de tal importancia para el éxito a largo plazo de los sistemas de producción que para el desarrollo de estos pronósticos se aplica un intenso esfuerzo organizacional. A continuación brindamos algunos ejemplos de estas decisiones:

1. **Diseño de un producto nuevo.** Si el volumen de ventas es lo suficientemente importante para el uso de maquinaria automatizada de producción, se requiere de gran esfuerzo de diseño del producto para asegurar que su proceso se facilite con esa tecnología.
2. **Determinación de la capacidad de producción para un producto nuevo.** Cuánta capacidad se requiere, cuántas nuevas fábricas son necesarias y dónde deberán ubicarse.
3. **Planeación para el suministro a largo plazo de los materiales.** Los pronósticos permiten a los gerentes de operaciones comprometer a los proveedores en contratos de suministro de materiales a largo plazo.

Para adquirir y construir nuevas máquinas y edificios, y para desarrollar nuevas fuentes de materiales, es necesario tiempo, que es precisamente lo que brindan esos planes.

FIGURA 3.2 PATRONES DE DATOS EN PRONÓSTICOS A LARGO PLAZO

Ciclos, tendencias y estacionalidad Aunque los datos a largo plazo pudieran parecer erráticos, si profundizamos por lo general podremos identificar patrones de datos subyacentes bastante simples. La figura 3.2 muestra cómo los datos históricos de ventas tienden a estar formados por varios componentes, como la tendencia, los ciclos, la estacionalidad y la fluctuación aleatoria, o ruido. La **tendencia** a largo plazo se ilustra como una línea de pendiente ascendente o descendente. Un **ciclo** es un patrón de datos que puede abarcar varios años antes que se repita. La **fluctuación aleatoria** es un patrón que resulta de variaciones aleatorias o de causas no explicadas. La estacionalidad es un patrón de datos que se repite después de un periodo, generalmente un año. Estaciones como otoño, invierno, primavera y verano son bien conocidas, pero también pueden ocurrir patrones estacionales como los que se dan a continuación:

Periodo antes de que se repita el patrón	Duración de la estación	Cantidad de estaciones en el patrón
Año	Trimestre	4
Año	Mes	12
Año	Semana	52
Mes	Semana	4
Mes	Día	29–31
Semana	Día	7

En la Gráfica superior de la figura 3.2 aparecen trazados seis años de datos históricos de ventas. Se podrían desarrollar gráficamente pronósticos a largo plazo ajustando una línea a través de estos datos del pasado y extendiéndola hacia adelante, hacia el futuro; entonces podrían determinarse leyendo de la gráfica los pronósticos de ventas correspondientes a los periodos 7 y 8. En la práctica, este procedimiento gráfico se utiliza para pronósticos a largo plazo, pero su principal inconveniente es que no es posible ajustar con precisión una línea a través de los datos del pasado. El análisis de regresión nos da una forma más precisa de desarrollar pronósticos con línea de tendencia.

Regresión lineal y correlación El **análisis de regresión lineal** es un modelo de pronóstico que establece una relación entre una variable dependiente y una o más variables independientes. Utilizamos nuestro conocimiento de esta relación y nuestro conocimiento de los valores futuros de las variables independientes para pronosticar los valores futuros de la variable dependiente. El **análisis de regresión lineal simple** sólo contiene una variable independiente. Si los datos forman una serie de tiempo, la variable independiente es el tiempo en periodos y la variable dependiente, por lo general, son las ventas, o aquello que deseemos pronosticar.

La tabla 3.5 muestra las variables, sus definiciones y las fórmulas para un análisis de regresión lineal simple. Este modelo es de la forma $Y = a + bX$, que se conoce como la **ecuación de regresión**, donde Y es la variable dependiente y la variable a pronosticar, X es la variable independiente, a es la intersección con el eje y y b es la pendiente de la línea de tendencia. Las fórmulas de la tabla 3.5 nos permiten calcular los valores de a y de b. Una vez conocidos estos valores constantes, en la ecuación de regresión puede introducirse un valor futuro para X y calcularse el valor correspondiente de Y (el pronóstico). Conceptualmente, este procedimiento es lo mismo que extender gráficamente la línea de tendencia de la figura 3.2, como se explicó anteriormente.

El ejemplo 3.1 desarrolla un pronóstico a partir de los datos de una serie de tiempo. El ejemplo muestra la forma en que los gerentes de operaciones pueden planear la capacidad de las instalaciones al desarrollar pronósticos de ventas a largo plazo. En este ejemplo, la variable independiente X representa el periodo. El único requisito que se impone a los valores de X es que deben quedar espaciados de manera equidistante, por lo que los valores de X podrían haber sido 1990, 1991, . . . ,1999 o cualquier otra representación significativa de periodos. Si se van a hacer cálculos sin utilizar computadora, los valores de x pueden manipularse a fin de que $\sum x = 0$; por lo que el cálculo de a y de b se facilitará mucho, ya que $\sum x$ desaparecerá de las ecuaciones de regresión. A continuación ilustramos la forma en que podríamos hacerlo:

1. Si en los datos existe un número impar de periodos del pasado, digamos 5, los valores de X serían $-2, -1, 0, +1, +2$. $\sum x = 0$ y el valor de X que se utilizará en la ecuación de regresión para el año siguiente sería de $+3$.
2. Si hubiera un número par de periodos pasados de datos, digamos 6, los valores de X serían $-5, -3, -1, +1, +3, +5$. $\sum x = 0$ y el valor de X que se utiliza en la ecuación de regresión del año siguiente sería de $+7$.

También se puede utilizar la regresión lineal simple cuando la variable independiente representa una variable distinta al tiempo. En este caso, la regresión lineal es representativa de una clase de modelo de pronóstico conocida como **modelo causal de pronóstico**. Estos modelos desarrollan pronósticos después de establecer y medir alguna asociación entre la variable dependiente y una o más variables independientes. Este tipo de modelos es excelente para la predicción de **puntos de inflexión** en las ventas.

TABLA 3.5 **DEFINICIONES DE VARIABLES Y FÓRMULAS PARA EL ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL SIMPLE**

x = valores de la variable independiente
y = valores de la variable dependiente
n = número de observaciones
a = intersección con el eje vertical
b = pendiente de la línea de regresión
$\bar{y}$ = valor medio de la variable dependiente

Y = valores de y que aparecen en la línea de tendencia Y = a + bX
X = valores de *x* que ocurren sobre la línea de tendencia
r = coeficiente de correlación
r^2 = coeficiente de determinación

$$a = \frac{\sum x^2 \sum y - \sum x \sum xy}{n\sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$b = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{n\sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$Y = a + bX$$

$$r = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2][n\sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

EJEMPLO 3.1

ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL SIMPLE: UNA SERIE DE TIEMPO

Specific Motors produce motores electrónicos para válvulas automáticas para la industria de la construcción. Durante más de un año, la planta de producción de Specific ha operado a casi plena capacidad. Jim White, el gerente de planta, estima que el crecimiento en las ventas continuará y desea desarrollar un pronóstico a largo plazo que se usará para planear las necesidades de las instalaciones para los siguientes tres años. Se han totalizado las cifras de ventas correspondientes a los últimos diez años:

Año	Ventas anuales (miles de unidades)	Año	Ventas anuales (miles de fuentes)
1	1,000	6	2,000
2	1,300	7	2,200
3	1,800	8	2,600
4	2,000	9	2,900
5	2,000	10	3,200

Estudiamos las fórmulas y la definición de las variables de la tabla 3.5, y después construimos la tabla siguiente para establecer los valores a utilizar en las fórmulas. (Para realizar muchos de estos cálculos es útil usar una hoja de cálculo.)

Año	Ventas anuales (miles de unidades) (y)	Periodo (x)	x^2	xy
1	1,000	1	1	1,000
2	1,300	2	4	2,600
3	1,800	3	9	5,400
4	2,000	4	16	8,000
5	2,000	5	25	10,000
6	2,000	6	36	12,000
7	2,200	7	49	15,400
8	2,600	8	64	20,800
9	2,900	9	81	26,100
10	3,200	10	100	32,000
Totales	$\sum y = 21{,}000$	$\sum x = 55$	$\sum x^2 = 385$	$\sum xy = 133{,}300$

SOLUCIÓN

1. Resolvamos ahora despejando los valores de *a* y de *b*:

$$a = \frac{\sum x^2 \sum y - \sum x \sum xy}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{(385)(21{,}000) - (55)(133{,}300)}{10(385) - (55)^2}$$

$$= \frac{8{,}085{,}000 - 7{,}331{,}500}{3{,}850 - 3{,}025} = \frac{753{,}500}{825} = 913.333$$

$$b = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{(10)(133{,}300) - (55)(21{,}000)}{825}$$

$$= \frac{1{,}333{,}000 - 1{,}155{,}000}{825} = \frac{178{,}000}{825} = 215.758$$

2. Ahora que conocemos los valores de *a* y de *b*, podemos utilizar la ecuación de regresión para pronosticar las ventas de años futuros:

$$Y = a + bX = 913.333 + 215.758X$$

3. Si deseamos pronosticar las ventas en miles de unidades para los tres años siguientes, podríamos reemplazar 11, 12 y 13, que son los tres valores siguientes de *X*, en la ecuación de regresión de *X*:

$$Y_{11} = 913.333 + 215.758(11) = 3{,}286.7, \text{ o } 3{,}290 \text{ miles de unidades}$$
$$Y_{12} = 913.333 + 215.758(12) = 3{,}502.4, \text{ o } 3{,}500 \text{ miles de unidades}$$
$$Y_{13} = 913.333 + 215.758(13) = 3{,}718.2, \text{ o } 3{,}720 \text{ miles de unidades}$$

Los pronósticos se redondearon con un dígito significativo más que los datos originales. Observe que los datos de ventas sólo contienen dos dígitos significativos; los pronósticos se calculan con tres.

El ejemplo 3.2 utiliza el total de la construcción regional como variable independiente X para pronosticar las ventas y de una empresa, que es la variable dependiente. En este ejemplo se necesita un pronóstico de ventas a largo plazo para ayudar al gerente a planear la cantidad de ingenieros y las instalaciones del año siguiente. Este ejemplo también explica cómo se pueden utilizar el coeficiente de correlación y el coeficiente de determinación para evaluar el modelo de pronóstico desarrollado mediante el análisis de regresión lineal.

EJEMPLO 3.2

ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL SIMPLE

Jack Weis, gerente general de Precision Engineering Corporation, supone que los servicios de ingeniería que su empresa proporciona a las empresas en construcción de carreteras están directamente relacionados con la cantidad de contratos de construcción de éstas emitidos en su área geográfica. Weis se pregunta si su suposición es real, y de ser así, ¿podría esta información ayudarle a planear mejor sus operaciones? Jack le pidió a Bill Brandon, uno de sus ingenieros, que hiciera un análisis de regresión lineal simple sobre datos históricos. Bill planea hacer lo siguiente: a) Desarrollar una ecuación de regresión para predecir el nivel de la demanda de los servicios de Precision. b) Utilizar la ecuación de regresión para predecir el nivel de la demanda durante los siguientes cuatro trimestres. c) Determinar con qué grado de exactitud se relaciona la demanda con la cantidad de contratos de construcción realizados.

SOLUCIÓN

a. Desarrollo de una ecuación de regresión:

1. Bill recorre los registros locales, estatales y federales con objeto de recolectar el valor en dólares por trimestre de los contratos liberados durante dos años en el área geográfica.
2. Examina la demanda de servicios de su empresa a lo largo de este mismo periodo.
3. Prepara la siguiente información:

Año	Trimestre	Ventas de servicios de Precision Engineering (miles de dólares)	Monto total de contratos liberados (miles de dólares)
1	Q_1	8	150
	Q_2	10	170
	Q_3	15	190
	Q_4	9	170
2	Q_1	12	180
	Q_2	13	190
	Q_3	12	200
	Q_4	16	220

4. Bill ahora desarrolla los totales necesarios para efectuar el análisis de regresión. Las fórmulas y definiciones de variables se encuentran en la tabla 3.5 (es útil utilizar una hoja de cálculo).

Periodo	Ventas (y)	Contratos (x)	x^2	xy	y^2
1	8	150	22,500	1,200	64
2	10	170	28,900	1,700	100
3	15	190	36,100	2,850	225
4	9	170	28,900	1,530	81
5	12	180	32,400	2,160	144
6	13	190	36,100	2,470	169
7	12	200	40,000	2,400	144
8	16	220	48,400	3,520	256
Totales	$\sum y = 95$	$\sum x = 1,470$	$\sum x^2 = 273,300$	$\sum xy = 17,830$	$\sum y^2 = 1,183$

5. Utiliza esos valores en las fórmulas de la tabla 3.5 para determinar *a* y *b*:

$$a = \frac{\sum x^2 \sum y - \sum x \sum xy}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{(273,300)(95) - (1,470)(17,830)}{8(273,300) - (1,470)^2}$$

$$= \frac{25,963,500 - 26,210,100}{2,186,400 - 2,160,000} = \frac{-246,600}{25,500} = -9.671$$

$$b = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{(8)(17,830) - (1,470)(95)}{25,500} = \frac{142,640 - 139,650}{25,500}$$

$$= \frac{2,990}{25,500} = 0.1173$$

6. La ecuación de regresión es, por lo tanto, $Y = -9.671 + 0.1173X$.

b. Pronostico del nivel de la demanda para los siguientes cuatro trimestres:

1. Bill llama a los representantes de las oficinas de obtención de contratos y prepara estimaciones de los contratos trimestrales para los siguientes cuatro trimestres en miles de dólares. Las cifras son 260, 290, 300 y 270.
2. A continuación, Bill pronostica la demanda de los servicios de ingeniería para Precision (en miles de dólares) para los siguientes cuatro trimestres, utilizando la ecuación de regresión $Y = -9.671 + 0.1173X$:

$$Y_1 = -9.671 + .1173(260) = -9.671 + 30.498 = 20.827 \qquad Y_2 = -9.671 + .1173(290) = -9.671 + 34.017 = 24.346$$

$$Y_3 = -9.671 + .1173(300) = -9.671 + 35.190 = 25.519 \qquad Y_4 = -9.671 + .1173(270) = -9.671 + 31.671 = 22.000$$

El pronóstico total (en miles de dólares) para el siguiente año es el total de los pronósticos de los cuatro trimestres:

$$20.827 + 24.346 + 25.519 + 22.000 = \$92.7$$

Observe que el pronóstico se redondeó utilizando una cifra significativa más que en los datos originales.

c. Evaluación de cuánto se apega la demanda al monto de los contratos de construcción liberados:

$$r = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2][n\sum y^2 - (\sum y)^2]}} = \frac{2,990}{\sqrt{[25,550][8(1,183) - (95)^2]}}$$

$$= \frac{2,990}{\sqrt{[25,500][9,464 - 9,025]}} = \frac{2,990}{\sqrt{(25,500)(439)}} = \frac{2,990}{\sqrt{11,194,500}}$$

$$= \frac{2,990}{3,345.8} = .894$$

$$r^2 = 0.799$$

El monto de los contratos liberados explica aproximadamente 80% ($r^2 = 0.799$) de la variación observada en la demanda trimestral de servicios de Precision.

***El coeficiente de correlación** (r) explica la importancia relativa de la relación entre* y *y* x*; el signo de r indica la dirección de dicha relación, y el valor absoluto de r la magnitud de la relación.* r puede asumir cualquier valor entre –1 y +1. El signo de r será siempre igual al signo de b. Una r negativa indica que los valores de y y de x tienden a moverse en direcciones opuestas, y una r positiva indica que los valores de y y de x se mueven en la misma dirección. A continuación los significados de varios valores de r:

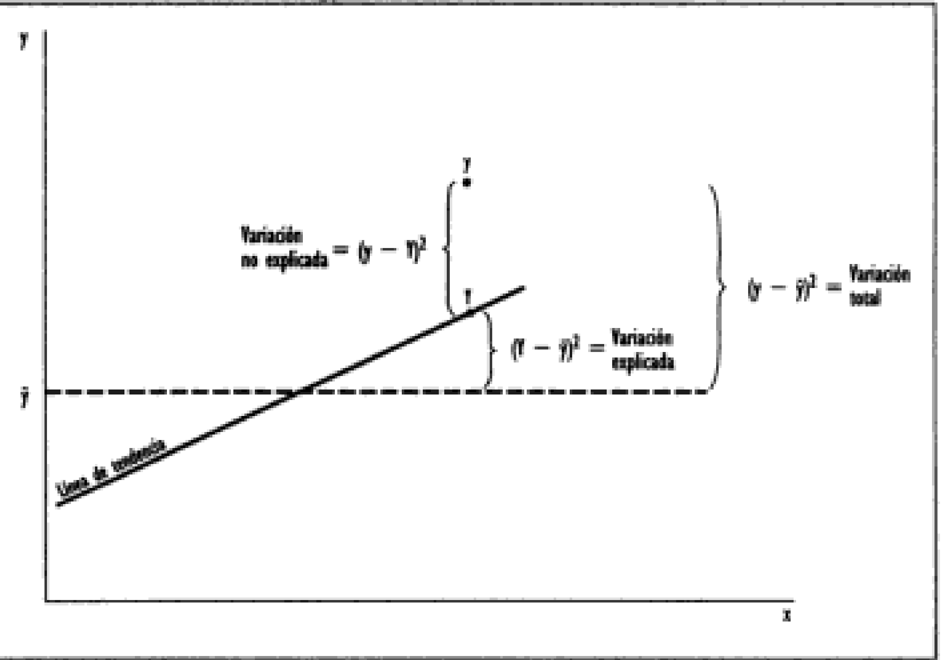
- −1 Una relación negativa perfecta; conforme y sube, x baja unidad por unidad y viceversa.
- +1 Una relación positiva perfecta; conforme y sube, x sube unidad por unidad y viceversa.
- 0 No existe relación alguna entre y y x.
- +0.3 Una relación positiva débil.
- −0.9 Una relación negativa fuerte.

En el ejemplo 3.2, $r = +0.894$, lo que significa que existe una relación positiva fuerte entre la demanda de servicios de ingeniería y el monto de los contratos liberados.

A pesar de que el coeficiente de correlación es útil para medir la relación entre x y y, adjetivos como *fuerte, moderado* y *débil* no son medidas muy específicas de relación. El coeficiente de



FIGURA 3.3 VARIACIÓN DE LA VARIABLE DEPENDIENTE (y)



determinación (r^2) es el cuadrado del coeficiente de correlación. La modificación, aparentemente insignificante, de r a r^2, nos permite pasar de medidas subjetivas de relación a una medida más específica. Existen tres tipos de variación en y: total, explicada y no explicada:

$$\text{Variación total} = \text{Variación explicada} + \text{Variación no explicada}$$
$$\sum(y-\bar{y})^2 \qquad \sum(Y-\bar{y})^2 \qquad \sum(y-Y)^2$$

La figura 3.3 ilustra estas fuentes de variación. La **variación total** es la suma de las desviaciones al cuadrado de cada uno de los valores de y respecto a su media y. La **variación explicada** es la suma de las desviaciones al cuadrado de los valores Y ubicados en la línea de tendencia, respecto a y. La **variación no explicada**, es decir, la variación proveniente de fuentes aleatorias o sin identificar, es la suma de las desviaciones al cuadrado de y respecto a los valores Y ubicados sobre la línea de tendencia.

El **coeficiente de determinación** se calcula mediante la relación entre la variación explicada con la total:

$$r^2 = \frac{\sum(Y-\bar{y})^2}{\sum(y-\bar{y})^2}$$

El coeficiente de determinación, por lo tanto, indica qué parte de la variación total en la variable dependiente y queda explicada por x, *o por la línea de tendencia.* Si $r^2 = 80$, como en el ejemplo 3.2, podemos decir que el monto de los contratos liberados (x) explica 80% de la variación en las ventas de los servicios de ingeniería (y); 20% de la variación en las ventas de los servicios de ingeniería no queda explicado por el monto de los contratos liberados y, por lo tanto, se atribuyen a otras variables o variaciones al azar.

Tanto el coeficiente de correlación como el de determinación son medidas útiles de la fuerza de la relación entre las variables dependientes e independientes y, por consiguiente, del valor de las ecuaciones de regresión como modelos de pronóstico. Mientras más fuerte sea la relación, mayor será la probabilidad de que sean más precisos aquellos pronósticos que resulten de las ecuaciones de regresión.

El análisis de regresión lineal simple tiene sus limitaciones para el desarrollo de pronósticos de alta precisión en casos reales del gobierno y de los negocios. Aunque hay ocasiones en que la variable independiente explica suficientemente la variación existente en la variable dependiente para tener precisión suficiente, pudieran requerirse modelos más complejos. Aunque las fórmulas son más elaboradas y quedan fuera del alcance de este análisis, el **análisis de regresión múltiple** es el utilizado cuando

existen dos o más variables independientes. Un ejemplo de una ecuación de regresión multilineal es:

$$Y = 15.5 + 2.9X_1 + 12.8X_2 - 1.2X_3 + 8.5X_4$$

donde

Y = ventas del siguiente trimestre en miles de unidades
X_1 = cargas de carros de ferrocarril nacionales del trimestre anterior en millones
X_2 = crecimiento porcentual del producto nacional bruto × diez mil
X_3 = tasa de desempleo en la región × diez mil
X_4 = población en el condado en miles

Este tipo de ecuación se utiliza de igual manera que la ecuación de regresión simple ($Y = a + bX$): para calcular el valor de la variable dependiente (Y) en la ecuación de regresión se reemplazan los valores estimados de las variables independientes (X_1, X_2, X_3, y X_4).

Observe que en la ecuación de regresión múltiple arriba citada, la variable X_1 equivale a las cargas de carros de ferrocarril nacionales del trimestre *anterior*. Este dato se utiliza para pronosticar las ventas del *siguiente* trimestre; en este caso, las cargas de carros de ferrocarril adelantan a las ventas en un trimestre. Consideramos a X_1 un **indicador adelantado** porque su valor se *conoce* antes que ocurra la venta. *Siempre es deseable encontrar indicadores adelantados en el pronóstico porque evitan la necesidad de estimar los valores de variables independientes,* como tuvimos que hacer en el paso b.1 del ejemplo 3.2.

El **análisis de regresión múltiple no lineal, regresión por etapas** y los **coeficientes de correlación múltiple** y **parciales** también forman parte de la familia de técnicas conocidas como análisis de regresión y correlación, pero quedan fuera del alcance de este libro. Sin embargo, las ideas aquí presentadas por lo general se aplican a estas técnicas más complejas, y *Y, X, a, b* y *r* tienen todas sus contrapartidas en los modelos más elaborados.

Rangos de los pronósticos Cuando el análisis de regresión lineal genera pronósticos para periodos futuros, éstos son sólo estimaciones y por lo tanto están sujetos a error. La presencia de errores de pronóstico o de variaciones al azar es un hecho para quienes pronostican; el pronóstico es un proceso que está inmerso en la incertidumbre. Una manera de tratar esta incertidumbre es desarrollando intervalos de confianza para los pronósticos.

La figura 3.4 muestra de manera gráfica de qué manera se podrían establecer intervalos de confianza para los pronósticos. Se utilizan diez periodos de datos para desarrollar una línea de tendencia. Al extender una línea de tendencia hacia el periodo 12, se obtiene un pronóstico de 2,400 unidades. Mediante el dibujo de límites superiores e inferiores a los datos, paralelos a la línea de tendencia, de forma que las ventas anuales reales excedan a los límites sólo de manera esporádica, los límites superior e inferior pueden extenderse hasta el periodo 12 y obtener un límite superior de 3,300 unidades y uno inferior de 1,500. Si los límites se acercan el uno al otro, los datos históricos estarán agrupados muy cerca de la línea de tendencia y tendremos más confianza en nuestros pronósticos.

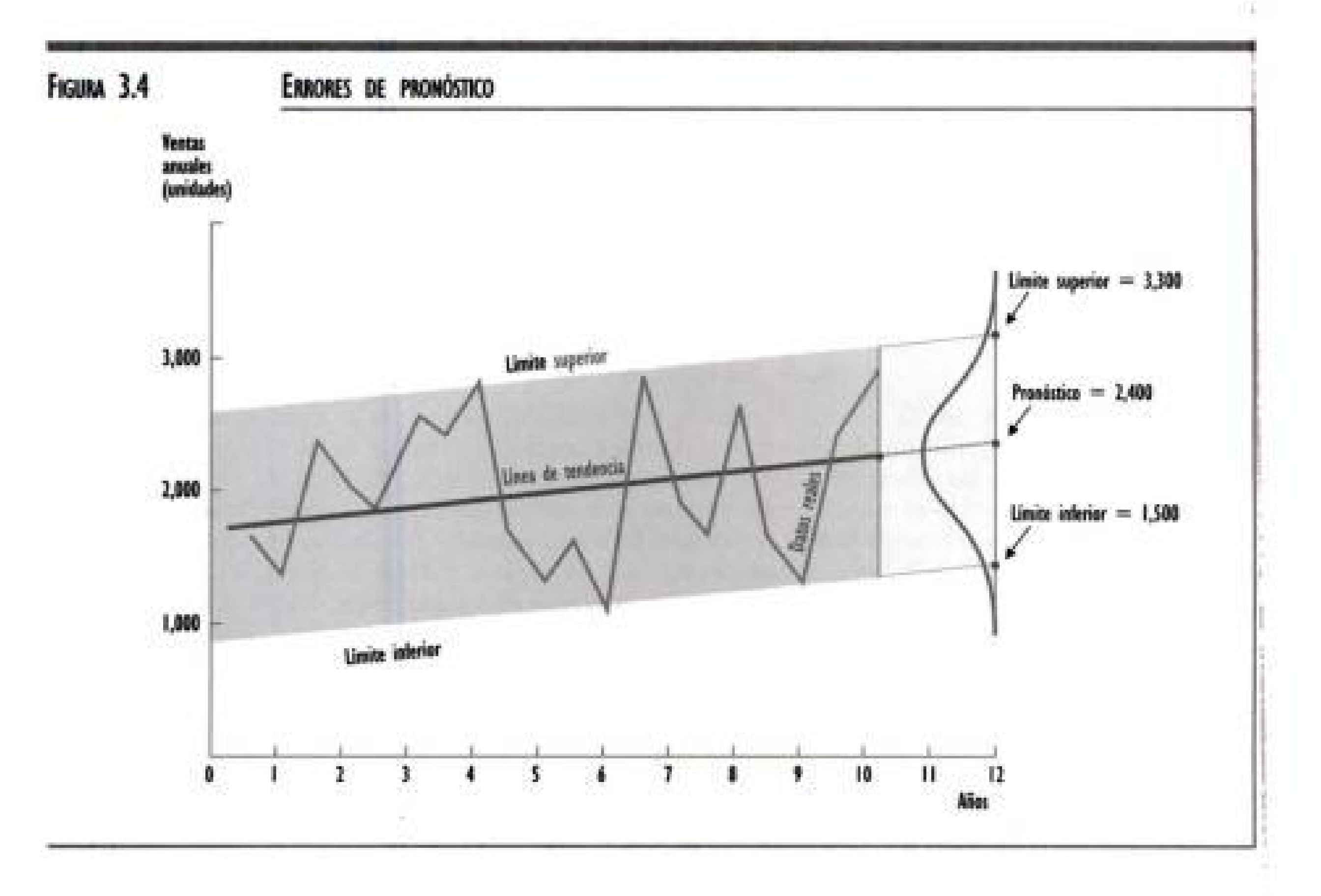
Aunque a veces se utiliza este procedimiento gráfico para establecer límites superiores e inferiores, es decir rangos de pronóstico, existe un método más preciso. El ejemplo 3.3 utiliza la siguiente fórmula para estimar rangos para un pronóstico:

$$s_{yx} = \sqrt{\frac{\sum y^2 - a\sum y - b\sum xy}{n - 2}}$$

La expresión s_{yx} se conoce como **error estándar del pronóstico** o **desviación estándar del pronóstico**, y es una medida de la manera en que han quedado dispersos a uno y otro lado de la línea de tendencia los puntos de datos históricos. Si s_{yx} es pequeño en relación con el pronóstico, los puntos de datos pasados han quedado agrupados muy cerca de la línea de tendencia y los límites superior e inferior se acercan entre sí.

Establecer rangos para los pronósticos permite a los analistas hacer frente a la incertidumbre que rodea a su trabajo desarrollando pronósticos con buenos estimados así como los rangos dentro de los cuales los datos reales más probablemente ocurrirán.

FIGURA 3.4 ERRORES DE PRONÓSTICO



EJEMPLO 3.3

RANGOS DE PRONÓSTICOS DE SERIE DE TIEMPO

Aquí utilizaremos los datos de ventas anuales de Specific Motors del ejemplo 3.1. La distribución de los valores pronosticados para un periodo de tiempo futuro tiene una desviación estándar (s_{yx}), que es una medida relativa de la manera en que la distribución está dispersa a uno y otro lado de su valor esperado (Y). La distribución de todos los valores de pronóstico futuros de los periodos se supone es una distribución t de Student.

SOLUCIÓN

1. Del ejemplo 3.1, hemos calculado todos los valores siguientes: $\sum y = 21{,}000$; $\sum x = 55$; $\sum x^2 = 385$; $\sum xy = 133{,}300$; $n = 10$; $\bar{x} = 5.5$; $\bar{y} = 2{,}100$. Calculemos ahora $\sum y^2$:

Año	y (miles de unidades)	y^2	Año	y (miles de unidades)	y^2
1	1,000	1,000,000	6	2,000	4,000,000
2	1,300	1,690,000	7	2,200	4,840,000
3	1,800	3,240,000	8	2,600	6,760,000
4	2,000	4,000,000	9	2,900	8,410,000
5	2,000	4,000,000	10	3,200	10,240,000
				Total	$\sum y^2 = 48{,}180{,}000$

2. Ahora calculemos el valor de s_{yx}:

$$s_{yx} = \sqrt{\frac{\sum y^2 - a\sum y - b\sum xy}{n-2}}$$

$$= \sqrt{\frac{48{,}180{,}000 - 913.333(21{,}000) - 215.758(133{,}300)}{10-2}}$$

$$= \sqrt{\frac{48{,}180{,}000 - 19{,}179{,}993 - 28{,}760{,}541.4}{8}} = \sqrt{\frac{239{,}465.6}{8}} = \sqrt{29{,}933.2}$$

= 173.0 Miles de unidades

3. Ahora que tenemos el valor de s_{yx}, calculemos los límites superior e inferior del pronóstico para el periodo 11*:

$$\text{Límite superior} = Y_{11} + t\ s_{yx}$$
$$\text{Límite inferior} = Y_{11} - t\ s_{yx}$$

Donde t es el número de desviaciones estándar de separación respecto a la media de la distribución para proporcionar una probabilidad dada de llegar a estos límites superior e inferior. Digamos, por ejemplo, que deseamos establecer los límites para que sólo exista una probabilidad de 10% (5% en cada extremo) de exceder de manera casual los límites. El Apéndice B enlista los valores de t. Dado que para un análisis de regresión simple los grados de libertad (g.l.) = n–2 y el nivel de significancia es igual a 0.10, el valor de t es igual a 1.860 y

Límite superior = 3,286.7 + 1.86(173) = 3,608.5, o 3,610 miles de unidades
Límite inferior = 3,286.7 − 1.86(173) = 2,964.9, o 2,960 miles de unidades

Note que se han redondeado los límites a un dígito significativo por encima de los datos originales.

4. Ahora podemos describirle a Jim Weis lo que tenemos: existe una probabilidad de 90% que nuestras ventas anuales del próximo año queden entre 3,310 y 2,960 miles de unidades. Sólo existe una probabilidad de 10% que nuestras ventas caigan fuera de estos límites. Nuestra mejor estimación es 3,290 miles de unidades.

*Otra expresión para los límites superior e inferior en el Y pronosticado a veces se utiliza cuando el punto de pronóstico queda muy alejado de los datos originales: límites = $Y \pm t(s_f)$, donde $s_f = s_{yx}\sqrt{1 + 1/n + [(X_0 - \bar{X})^2/\sum(X - \bar{X})^2]}$, y X_0 es el valor de X para el cual se está pronosticando un valor de Y.

Estacionalidad en los pronósticos de series de tiempo Por lo general, los **patrones estacionales** son fluctuaciones que ocurren dentro de un año y tienden a repetirse anualmente. Estas estaciones pueden ser causadas o determinadas por el clima, las vacaciones, los días de pago, los eventos escolares o cualquier otro fenómeno. La Instantánea Industrial 3.1 describe la experiencia que tuvo L. Bean en el pronóstico de patrones estacionales.

El ejemplo 3.4 muestra la forma de desarrollar pronósticos con el análisis de regresión lineal cuando en los datos de la serie de tiempo está presente una estacionalidad. El ejemplo sigue estos pasos.

1. Seleccione un conjunto representativo de datos históricos.
2. Desarrolle un índice de estacionalidad para cada estación, es decir, mes o trimestre.
3. Utilice los índices de estacionalidad para desestacionalizar los datos. En otras palabras, elimine los patrones estacionales.
4. Realice un análisis de regresión lineal sobre los datos desestacionalizados. Ello resultará en una ecuación de regresión de la forma: Y = a + bX.
5. Utilice la ecuación de regresión para calcular los pronósticos del futuro.
6. Utilice los índices de estacionalidad para volver a aplicar los patrones estacionales a los pronósticos.

Cuando desarrollamos pronósticos estacionalizados mediante el análisis de regresión lineal, como en el ejemplo 3.4, y deseamos tener rangos para estos pronósticos, el procedimiento es sim-

INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 3.1

PRONÓSTICO DE LLAMADAS TELEFÓNICAS EN L. L. BEAN

L. L. Bean es un detallista muy conocido de artículos y ropa deportiva para cacería y campismo de alta calidad. Aproximadamente 10% de sus ventas se efectúan a través de tiendas al menudeo, 20% mediante órdenes por correo y 70% por pedidos telefónicos al centro de atención telefónica de la empresa. Los clientes llaman a uno de los dos números gratuitos para colocar pedidos o para entrar en contacto con servicio a clientes; los empleados del servicio están especialmente capacitados para manejar una amplia variedad de problemas, en tanto que los vendedores están capacitados para recibir pedidos.

A fin de planear con efectividad sus necesidades de personal, para L. L. Bean es importante pronosticar con precisión la cantidad de llamadas telefónicas diarias para ventas y para servicio a clientes. Los programadores de personal utilizan pronósticos para crear programas semanales de personal para las siguientes tres semanas. Los pronósticos incorrectos resultan muy costosos para L. L. Bean. Si se pronostica demasiado alto, resulta un excesivo costo de mano de obra directa; si se pronostica demasiado bajo, resulta en falta de personal, lo que es causa de clientes insatisfechos, ventas perdidas y cargos más elevados por conexión telefónica debido a esperas más largas. Complicando adicionalmente el reto de pronosticar y de personal está la naturaleza errática y extrema estacionalidad del negocio de L. L. Bean. La empresa recibe prácticamente 20% de sus llamadas anuales en las tres semanas anteriores a Navidad, en las que generalmente se duplica la cantidad de personas y cuadriplica el número de líneas telefónicas.

En un esfuerzo para mejorar la precisión en el pronóstico, se desarrollaron nuevos modelos empleando la metodología de promedios móviles autorregresivos integrados (ARIMA o Box-Jenkins). La mejoría fue tan importante que un gerente de L. L. Bean la describió así: "Durante aproximadamente cinco meses ya hemos estado utilizando el nuevo sistema de pronóstico para preparar nuestros programas de personal para los centros de llamadas y nos hemos beneficiado en gran medida por su mucha mayor precisión. En el pasado, pronosticábamos los niveles de llamadas utilizando un procedimiento estadísticamente menos complejo, basado principalmente en los pronósticos de pedidos que obteníamos de mercadotecnia.

"Los ahorros anuales recurrentes debidos al cambio a este nuevo sistema de pronóstico se estiman en 300 mil dólares. Esto no incluye los sustanciales ahorros continuados que resultan todas las semanas por la importante reducción en la mano de obra requerida para la preparación de los pronósticos."

Fuente: Andrews, Bruce H. and Shawn M. Cunningham. "L. L. Bean Improves Call-Center Forecasting." *Interfaces* 25, no. 6 (noviembre-diciembre 1995): 1–13.

ple. Los pronósticos desestacionalizados se convierten en rangos y entonces estos pronósticos, junto con sus límites superior e inferior, se estacionalizan multiplicándolos por sus respectivos índices de estacionalidad.

EJEMPLO 3.4

PRONÓSTICOS DE SERIE DE TIEMPO ESTACIONALIZADOS

Jim White, gerente de planta de Specific Motors, está intentando planear las necesidades de efectivo, personal y materiales y suministros para cada trimestre del próximo año. Los datos de ventas trimestrales durante los últimos tres años razonablemente parecen reflejar el patrón de resultados estacional que debe esperarse en el futuro. Si Jim pudiera estimar las ventas trimestrales del siguiente año, podría determinar las necesidades de efectivo, material, personal y suministros. (Resulta útil utilizar una hoja de cálculo para realizar muchos de los cálculos).

SOLUCIÓN

1. Primero, calculamos los índices de estacionalidad:

Año	Ventas trimestrales (miles de unidades) Q1	Q2	Q3	Q4	Total Anual
8	520	730	820	530	2,600
9	590	810	900	600	2,900
10	650	900	1,000	650	3,200
Totales	1,760	2,440	2,720	1,780	8,700
Promedio trimestral	586⅔	813⅓	906⅔	593⅓	725*
Índice de estacionalidad (IE)**	0.809	1.122	1.251	0.818	

*Promedio general del trimestre = 8700/12 = 725.
**IE = Promedio del trimestre/Promedio general del trimestre.

2. A continuación, desestacionalizamos los datos dividiendo cada valor trimestral entre su IE (índice de estacionalidad). Por ejemplo, $520 \div 0.809 = 642.8$, $730 \div 1.122 = 650.6$, y así sucesivamente.

Año	Datos trimestrales ajustados desestacionalizados Q1	Q2	Q3	Q4
8	642.8	650.6	655.5	647.9
9	729.3	721.9	719.4	733.5
10	803.5	802.1	799.4	794.6

3. A continuación, hacemos un análisis de regresión sobre los datos desestacionalizados (12 trimestres) y el pronóstico de los siguientes cuatro trimestres:

Periodo	x	y	y^2	x^2	xy
Año 8, Q_1	1	642.8	413,191.84	1	642.8
Año 8, Q_2	2	650.6	423,280.36	4	1,301.2
Año 8, Q_3	3	655.5	429,680.25	9	1,966.5
Año 8, Q_4	4	647.9	419,774.41	16	2,591.6
Año 9, Q_1	5	729.3	531,878.49	25	3,646.5
Año 9, Q_2	6	721.9	521,139.61	36	4,331.4
Año 9, Q_3	7	719.4	517,536.36	49	5,035.8
Año 9, Q_4	8	733.5	538,022.25	64	5,868.0
Año 10, Q_1	9	803.5	645,612.25	81	7,231.5
Año 10, Q_2	10	802.1	643,364.41	100	8,021.0
Año 10, Q_3	11	799.4	639,040.36	121	8,793.4
Año 10, Q_4	12	794.6	631,389.16	144	9,535.2
Totales	$\sum x = 78$	$\sum y = 8{,}700.5$	$\sum y^2 = 6{,}353{,}909.75$	$\sum x^2 = 650$	$\sum xy = 58{,}964.9$

4. A continuación utilizamos estos valores para reemplazarlos en las fórmulas encontradas en la tabla 3.5:

$$a = \frac{\sum x^2 \sum y - \sum x \sum xy}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{650(8{,}700.5) - 78(58{,}964.9)}{12(650) - (78)^2} = 615.421$$

$$b = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{12(58{,}964.9) - 78(8{,}700.5)}{12(650) - (78)^2} = 16.865$$

$$Y = a + bX = 615.421 + 16.865X$$

5. Ahora reemplazamos los valores 13, 14, 15 y 16 —los siguientes cuatro valores de *x*— en la ecuación. Estos serán los pronósticos desestacionalizados, en miles de unidades, para los siguientes cuatro trimestres:

$Y_{13} = 615.421 + 16.865(13) = 834.666$ $Y_{15} = 615.421 + 16.865(15) = 868.396$
$Y_{14} = 615.421 + 16.865(14) = 851.531$ $Y_{16} = 615.421 + 16.865(16) = 885.261$

6. Utilizamos los índices de estacionalidad (IE) para estacionalizar los pronósticos:

Trimestre	IE	Pronósticos desestacionalizados	Pronósticos estacionalizados [IE × pronósticos desestacionalizados (miles de unidades)
Q_1	0.809	834.666	675
Q_2	1.122	851.531	955
Q_3	1.251	868.396	1,086
Q_4	0.818	885.261	724

Observe que se han redondeado los pronósticos a un dígito significativo adicional a los de los datos originales.

Pronósticos a corto plazo

Por lo general, los **pronósticos a corto plazo** son estimaciones de situaciones futuras sobre lapsos que van desde unos cuantos días hasta varias semanas. *Estos pronósticos pueden abarcar periodos tan cortos de tiempo que los ciclos, la estacionalidad y los patrones de tendencia surten muy poco efecto*. El patrón principal de datos que afecta a estos pronósticos es la fluctuación aleatoria.

Los pronósticos a corto plazo proporcionan a los gerentes de operaciones información para tomar decisiones como:

- ¿Cuánto inventario de un producto en particular deberá mantenerse el mes siguiente?
- ¿Cuánto de cada producto deberá programarse para producción la semana siguiente?
- ¿Cuánto de cada materia prima deberá pedirse para su entrega la siguiente semana?
- ¿Cuántos trabajadores deberán programarse para trabajar en tiempo normal y extra la semana entrante?

Evaluación del desempeño del modelo de pronóstico Los modelos de pronóstico a corto plazo se evalúan en función de tres características: respuesta de impulso, capacidad de amortiguación de ruido y precisión.

Respuesta de impulso en comparación con la capacidad de amortiguación de ruido El pronóstico a corto plazo involucra tomar datos históricos del pasado y proyectar los valores estimados correspondientes a estos datos uno o más periodos en el futuro. Los pronósticos que reflejan todas las pequeñas fluctuaciones ocurridas en los datos del pasado se dice que incluyen variaciones aleatorias, o **ruido**. Estos pronósticos son erráticos de un periodo al siguiente. Si, por otra parte, los pronósticos tienen pequeñas fluctuaciones de un periodo a otro, se dice que tienen **amortiguación de ruido**.

Los pronósticos que responden muy rápidamente a los cambios en los datos históricos se describen como de una **respuesta de impulso elevada**. Por otra parte, cuando los pronósticos reflejan poco de los cambios de los datos históricos, se dice que estos pronósticos tienen una **respuesta de impulso baja**. Por lo general, es deseable tener pronósticos a corto plazo que a la vez contengan una respuesta de impulso elevada y una alta capacidad de amortiguación de ruido, pero esto no es posible. Un sistema de pronóstico que responda rápidamente a los cambios en los datos obligatoriamente adquiere gran cantidad de ruido. Los pronosticadores, por lo tanto, al seleccionar modelos de pronóstico para cada aplicación en particular normalmente deben escoger cuál será la característica más valiosa: una elevada respuesta de impulso o una elevada capacidad de amortiguación de ruido.

Medidas de la precisión del pronóstico La precisión de un modelo de pronóstico se refiere a qué tan cerca siguen los datos reales a los pronósticos. Comúnmente se utilizan tres medidas de preci-

sión del pronóstico: 1) error estándar del pronóstico (s_{yx}), analizado anteriormente; 2) error medio cuadrático (MSE, por sus siglas en inglés), que es simplemente $(s_{yx})^2$; y 3) desviación media absoluta (MAD, por sus siglas en inglés), que se calcula de las fórmulas que siguen:

$$\text{MAD} = \frac{\text{Suma de la desviación absoluta durante n periodos}}{\text{n}}$$

$$\text{MAD} = \frac{\sum_{i=1}^{n} |\text{Demanda real} - \text{Demanda pronosticada}|_i}{\text{n}}$$

Igual que s_{yx} y el error medio cuadrático (MSE, por sus siglas en inglés), si MAD es pequeño, los datos reales siguen de cerca a los pronósticos de la variable dependiente y el modelo de pronóstico está dando pronósticos precisos. Cuando los errores pronosticados siguen una distribución normal, los valores de MAD y de s_{yx} quedan relacionados mediante la expresión:

$$S_{yx} = 1.25\text{MAD}$$

MAD, s_{yx} y el error medio cuadrático se utilizan para medir la precisión *a posteriori* tanto de los modelos de pronóstico a largo como a corto plazo. Sin embargo, en el caso de los modelos de pronóstico a corto plazo también se puede utilizar MAD para determinar valores válidos de los parámetros de los modelos de pronóstico, antes de aplicar dichos modelos.

Pronósticos ingenuos Los modelos de pronóstico ingenuos son aquellos que son rápidos y fáciles de utilizar, no tienen virtualmente ningún costo, y son fáciles de comprender. Los ejemplos de pronósticos ingenuos son: 1) el uso de las ventas de ayer como pronóstico de las ventas de hoy 2) uso de las ventas de la misma fecha del año pasado como pronóstico de ventas de mañana. La objeción principal al uso de estos procedimientos para el pronóstico a corto plazo es que son tan simplistas que los más probable es que den como resultado un error sustancial de pronóstico. Hay algunas aplicaciones, sin embargo, en las que los pronósticos ingenuos son tan precisos como los modelos más complejos o el error de pronóstico no es lo suficientemente oneroso para justificar modelos de pronóstico más costosos.

Método de los promedios móviles El método de los promedios móviles promedia los datos de unos cuantos periodos recientes y este promedio se convierte en el pronóstico del periodo siguiente. El ejemplo 3.5 demuestra la manera de utilizar el método de los promedios móviles. De particular importancia es la cantidad de periodos de datos que se han de incluir en el promedio.

EJEMPLO 3.5

PRONÓSTICO DE PROMEDIO MÓVIL A CORTO PLAZO

Shirley Johnson, gerente de inventarios, desea desarrollar un sistema de pronóstico a corto plazo para estimar el volumen de inventario que fluye de su almacén todas las semanas. Ella cree que la demanda de inventario por lo general ha sido estable, con algunas ligeras fluctuaciones aleatorias de una semana a la siguiente. Un analista de las oficinas centrales de la empresa sugirió que utilizara un promedio móvil de 3, 5 o 7 semanas. Antes de tomar una decisión, Shirley decidió comparar la precisión de cada una de ellas en relación con el periodo de diez semanas más reciente.

SOLUCIÓN

1. Calcule los pronósticos de promedios móviles de 3, 5 y 7 semanas:

Semana	Demanda real de inventarios (miles de dólares)	Pronósticos cantidad de periodos promediados = 3 semanas	Pronósticos cantidad de periodos promediados = 5 semanas	Pronósticos cantidad de periodos promediados = 7 semanas
1	100			
2	125			
3	90			
4	110			
5	105			
6	130			
7	85			
8	102	106.7	104.0	106.4
9	110	105.7	106.4	106.7
10	90	99.0	106.4	104.6
11	105	100.7	103.4	104.6
12	95	101.7	98.4	103.9
13	115	96.7	100.4	102.4
14	120	105.0	103.0	100.3
15	80	110.0	105.0	105.3
16	95	105.0	103.0	102.1
17	100	98.3	101.0	100.0

Note que se han redondeado los pronósticos a un dígito significativo por encima de lo correspondiente a los datos originales.

Cálculos de muestra: pronósticos para la semana 10:

$$F_3 = \frac{85 + 102 + 110}{3} = 99.0$$

$$F_5 = \frac{105 + 130 + 85 + 102 + 110}{5} = 106.4$$

$$F_7 = \frac{90 + 110 + 105 + 130 + 85 + 102 + 110}{7} = 104.6$$

Nota: Para el pronóstico para la semana 10, recuerde que los únicos datos históricos de demanda de inventario reales semanales que usted tiene para trabajar son las semanas 1 a 9. Por lo tanto, no es posible que se incluyan los datos reales de la semana 10 para el cálculo de los pronósticos de esa semana.

2. A continuación, calcule la desviación media absoluta (MAD, por sus siglas en inglés) de estos tres pronósticos:

Semana	Demanda real de inventario (miles de dólares)	Pronósticos — cantidad de periodos promediados = 3 semanas: Pronósticos	Desviación absoluta	cantidad de periodos promediados = 5 semanas: Pronósticos	Desviación absoluta	cantidad de periodos promediados = 7 semanas: Pronósticos	Desviación absoluta
8	102	106.7	4.7	104.0	2.0	106.4	4.4
9	110	105.7	4.3	106.4	3.6	106.7	3.3
10	90	99.0	9.0	106.4	16.4	104.6	14.6
11	105	100.7	4.3	103.4	1.6	104.6	0.4
12	95	101.7	6.7	98.4	3.4	103.9	8.9
13	115	96.7	18.3	100.4	14.6	102.4	12.6
14	120	105.0	15.0	103.0	17.0	100.3	19.7
15	80	110.0	30.0	105.0	25.0	105.3	25.3
16	95	105.0	10.0	103.0	8.0	102.1	7.1
17	100	98.3	1.7	101.0	1.0	100.0	0.0
Desviación absoluta total			104.0		92.6		96.3
Desviación absoluta media (MAD, por sus siglas en inglés)			10.40		9.26		9.63

TABLA 3.6 **FÓRMULAS Y DEFINICIONES DE VARIABLES PARA LOS PRONÓSTICOS DE SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL**

F_t = pronóstico para el periodo t, el periodo siguiente
F_{t-1} = pronóstico para el periodo $t - 1$, el periodo anterior
A_{t-1} = datos reales del periodo $t - 1$, el periodo anterior
α = constante de suavización, de 0 a 1

$F_t = F_{t-1} + \alpha(A_{t-1} - F_{t-1})$, que también se puede expresar de la manera:
$F_t = \alpha A_{t-1} + (1 - \alpha)F_{t-1}$

Método de los promedios móviles ponderados El método de promedios móviles antes analizado toma en consideración, al desarrollar un pronóstico, dar el mismo peso a todos los datos históricos. En algunas situaciones pudiera resultar deseable aplicar pesos o coeficientes de ponderación a los datos históricos. Por ejemplo, si se cree que los datos más recientes son más importantes para un pronóstico, se pueden aplicar pesos o coeficientes más elevados de ponderación a estos datos, como se indica a continuación:

Semana	Datos reales	Peso o coeficiente de ponderación
7	85	.20
8	102	.30
9	110	.50

$$\text{Pronóstico}_{10} = 0.2(85) + 0.3(102) + 0.5(110) = 102.6, \text{ o 102 mil 600 dólares}$$

Esta simple modificación al método de los promedios móviles permite a los pronosticadores especificar la importancia relativa de cada uno de los periodos pasados de datos.

Método de suavización exponencial En la tabla 3.6 se encuentran las variables, sus definiciones y las fórmulas para los pronósticos de suavización exponencial. La **suavización exponencial** toma el pronóstico del periodo anterior y le incorpora un ajuste para obtener el pronóstico del siguiente periodo. Este ajuste es proporcional al error anterior y se calcula multiplicando el error de pronóstico del periodo anterior por una constante entre cero y uno. Esta constante alfa (α) se conoce como **constante de suavización.** El ejemplo 3.6 demuestra el uso de la suavización exponencial para el desarrollo de pronósticos.

EJEMPLO 3.6

PRONÓSTICO A CORTO PLAZO DE SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL

Shirley Johnson, del ejemplo 3.5, habla con un analista de las oficinas centrales de la empresa respecto al pronóstico de la demanda semanal del inventario de su almacén. El analista sugiere que Shirley piense en utilizar la suavización exponencial con constantes de suavización de 0.1, 0.2 y 0.3. Shirley decide comparar la precisión de las constantes de suavización para el periodo de 10 semanas más reciente.

SOLUCIÓN

1. Primero, estudiamos las fórmulas y definiciones de variables de la tabla 3.6. Calculamos los pronósticos semanarios de las semanas 8 hasta la 17:

Semana	Demanda real de inventario (miles de dólares)	Pronósticos		
		$\alpha = 0.1$	$\alpha = 0.2$	$\alpha = 0.3$
7	85	85.0*	85.0	85.0
8	102	85.0	85.0	85.0
9	110	86.7	88.4	90.1
10	90	89.0	92.7	96.1
11	105	89.1	92.2	94.3
12	95	90.7	94.8	97.5
13	115	91.1	94.8	96.8
14	120	93.5	98.8	102.3
15	80	96.2	103.0	107.6
16	95	94.6	98.4	99.3
17	100	94.6	97.7	98.0

*Todos los pronósticos para la séptima semana fueron seleccionados arbitrariamente. Se necesitan pronósticos de inicio para utilizar la suavización exponencial. Usualmente se igualan, estos pronósticos a los datos reales del periodo.

Observe que los pronósticos han sido redondeados mostrando un dígito significativo más que los datos originales. Los cálculos correspondientes a los pronósticos de la semana 10 son:

$$F_{10} = F_9 + \alpha(A_9 - F_9)$$
$$\alpha = 0.1{:}\ F_{10} = 86.7 + 0.1(110 - 86.7) = 89.0$$
$$\alpha = 0.2{:}\ F_{10} = 88.4 + 0.2(110 - 88.4) = 92.7$$
$$\alpha = 0.3{:}\ F_{10} = 90.1 + 0.3(110 - 90.1) = 96.1$$

Nota: Al elaborar los pronósticos de la semana 10, los únicos datos históricos disponibles llegan hasta la semana 9. Sólo se utilizan los datos reales de esa semana y los pronósticos de la semana 9 para calcular los pronósticos de la semana 10.

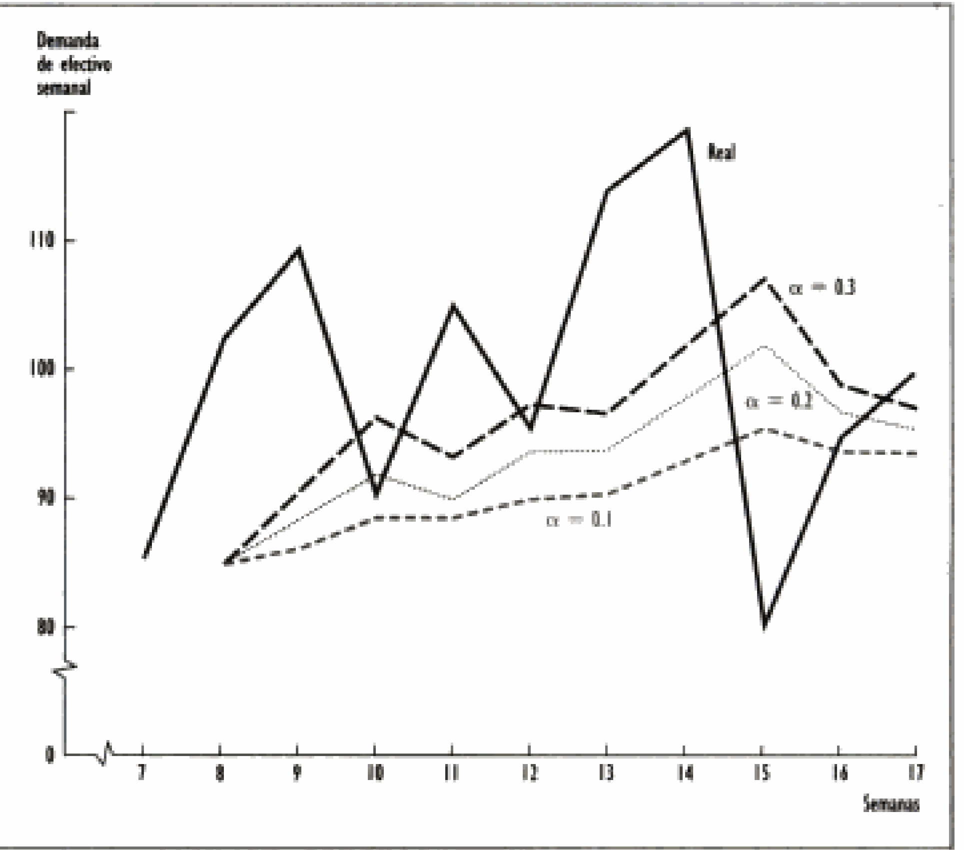
2. A continuación, calculamos la desviación media absoluta de estos tres pronósticos:

Semanas	Demanda real de inventarios (miles de dólares)	Pronóstico					
		$\alpha = 0.1$		$\alpha = 0.2$		$\alpha = 0.3$	
		Pronósticos	Desviación absoluta	Pronósticos	Desviación absoluta	Pronósticos	Desviación absoluta
8	102	85.0	17.0	85.0	17.0	85.0	17.0
9	110	86.7	23.3	88.4	21.6	90.1	19.9
10	90	89.0	1.0	92.7	2.7	96.1	6.1
11	105	89.1	15.9	92.2	12.8	94.3	10.7
12	95	90.7	4.3	94.8	0.2	97.5	2.5
13	115	91.1	23.9	94.8	20.2	96.8	18.2
14	120	93.5	26.5	98.8	21.2	102.3	17.7
15	80	96.2	16.2	103.0	23.0	107.6	27.6
16	95	94.6	0.4	98.4	3.4	99.3	4.3
17	100	94.6	5.4	97.7	2.3	98.0	2.0
Desviación absoluta total			133.9		124.4		126.0
Desviación media absoluta			13.39		12.44		12.60

3. La constante de suavización $\alpha = 0.2$ nos da una precisión ligeramente mayor si la comparamos con las de $\alpha = 0.1$ y $\alpha = 0.3$.
4. A continuación, utilizando $\alpha = 0.2$, calcule el pronóstico (en miles de dólares) para la semana 18:

$$F_{18} = F_{17} + 0.2(A_{17} - F_{17})$$
$$= 97.7 + 0.2(100 - 97.7) = 97.7 + 0.2(2.3) = 97.7 + 0.46 = 98.2$$, o 98 mil 200 dólares

FIGURA 3.6 PRONÓSTICOS DE SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL EN COMPARACIÓN CON LA DEMANDA REAL DE EFECTIVO DEL EJEMPLO 3.6

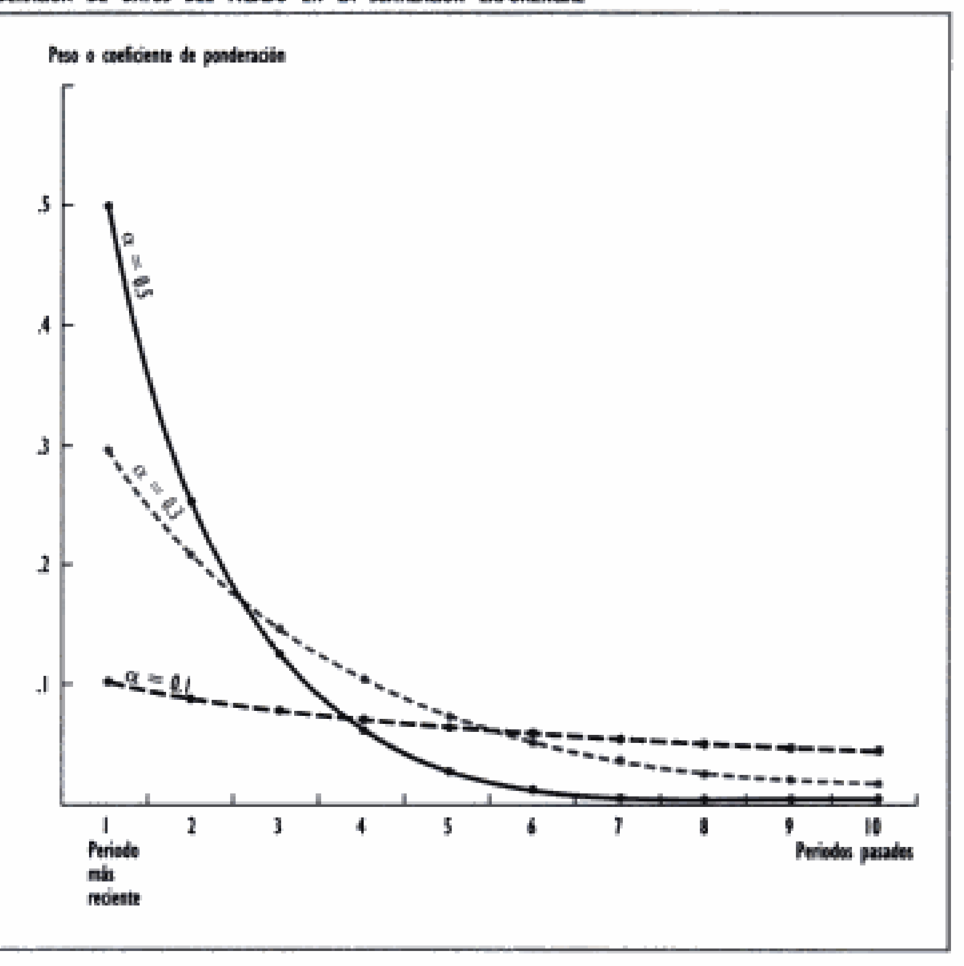


Los pronosticadores seleccionan valores para α basados en criterios como la precisión, la respuesta de impulso y la capacidad de amortiguación de ruido. Como se puede ver en el ejemplo 3.6, no siempre niveles más elevados de α resultan en pronósticos más precisos. Cada conjunto de datos tiende a tener cualidades únicas, de forma que se aconseja experimentar con diferentes niveles de α para alcanzar la mejor precisión en el pronóstico. La figura 3.6 traza los pronósticos de suavización exponencial ($\alpha = 0.1$, 0.2 y 0.3) contra la demanda real semanal del inventario del ejemplo 3.6. *Note que entre más elevado es α, más alta es su respuesta de impulso y menor es su capacidad de amortiguación de ruido y viceversa*: Cuando $\alpha = 0.3$, el pronóstico exhibe una respuesta de impulso ligeramente superior y una capacidad de amortiguación de ruido ligeramente inferior, ya que su curva exhibe una mayor variación de periodo a periodo.

La suavización exponencial se conocía antes como **promedio móvil ponderado exponencialmente**, término que nos recuerda que la *suavización exponencial, igual que el promedio móvil y los modelos de promedios móviles ponderados, desarrollan pronósticos que en realidad son promedios. La suavización exponencial brinda mayor peso a los datos de periodos más recientes que a los de periodos más alejados.* La figura 3.7 ilustra los pesos o coeficientes de ponderación para algunas constantes de suavización.

Suavización exponencial con tendencia Generalmente consideramos que la planeación a corto plazo cubre o abarca lapsos tan breves que la estacionalidad y la tendencia no son factores de importancia. Sin embargo, conforme pasamos de pronósticos a corto plazo a pronósticos a plazo medio, la estacionalidad y la tendencia se hacen más importantes. La incorporación de un componente de tendencia en pronósticos suavizados exponencialmente se conoce como **suavización exponencial doble**, ya que tanto la estimación del promedio como la de la tendencia se suavizan.

FIGURA 3.7 PONDERACIÓN DE DATOS DEL PASADO EN LA SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL



En este modelo se utiliza tanto α, la constante de suavización para el promedio, como β, la constante de suavización para la tendencia. La tabla 3.7 exhibe fórmulas para incorporar un componente de tendencia en pronósticos de suavización exponencial y el ejemplo 3.7 ilustra la utilización de las fórmulas.

El pronóstico con tendencia del mes 7 se calcula así:

$$FT_t = S_{t-1} + T_{t-1}$$
$$FT_7 = S_6 + T_6$$
$$= 149.28 + 3.81 = 153.09, \text{ o } 153.1 \text{ miles de dólares}$$

EJEMPLO 3.7

SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL EN PRONÓSTICOS CON TENDENCIA

Ann Hickman debe pronosticar las ventas de su empresa en expansión de autotransportes, de forma que pueda planear la necesidades de efectivo, personal y combustible. Ella cree que las ventas durante el periodo de los seis meses anteriores son representativas de las ventas del futuro. Desarrolle un pronóstico de suavización exponencial con tendencia para las ventas del mes 7, si $\alpha = 0.2$, $\beta = 0.3$, y las ventas históricas, en miles de dólares, fueron:

TABLA 3.7 **FÓRMULAS, DEFINICIONES DE VARIABLES Y PROCEDIMIENTO PARA LOS PRONÓSTICOS DE SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL CON TENDENCIA**

Definiciones variables

S_t = pronóstico suavizado del periodo t
T_t = estimación de tendencia del periodo t
A_t = dato real del periodo t
t = el siguiente periodo
$t - 1$ = el periodo anterior
FT_t = pronóstico con tendencia del periodo t
α = constante de suavización para los promedios, de 0 a 1
β = constante de suavización para la tendencia, de 0 a 1

Fórmulas

$FT_t = S_{t-1} + T_{t-1}$
$S_t = FT_t + \alpha(A_t - FT_t)$
$T_t = T_{t-1} + \beta(FT_t - FT_{t-1} - T_{t-1})$

Procedimiento

Si deseáramos completar el pronóstico de suavización exponencial con tendencia para la semana 7, seguiríamos este procedimiento:

1. Para empezar, es necesario que sepamos los valores de α y de β. Los valores de las constantes de suavización α y β deben estar entre 0 y 1 y deben estimarse o deducirse experimentalmente.
2. S_6 y T_6 se habrían calculado antes.
3. Calcule: $FT7 = S_6 + T_6$. Este es el pronóstico de suavización exponencial con tendencia para la semana 7.
4. En la preparación para el cálculo de pronóstico de la siguiente semana, calculamos S_7 y T_7. Conociendo los valores de FT_7, FT_6, α, β y T_6, y una vez conocido el valor de A_7 calcule:
   $S_7 = FT_7 + \alpha(A_7 - FT_7)$
   $T_7 = T_6 + \beta(FT_7 - FT_6 - T_6)$

Mes (t)	Ventas (miles de dólares) (A_t)
1	130
2	136
3	134
4	140
5	146
6	150

SOLUCIÓN

1. Estimamos el pronóstico de inicialización para el mes 1: Un pronóstico ingenuo para el mes 1 serían las ventas reales del mes 1, o 130.

$$FT_1 = A_1 = 130$$

2. Estimamos un componente inicial de tendencia. Una forma de estimar el componente de tendencia es restar las ventas reales del mes 1 de las ventas reales del mes 6, y a continuación dividirlos entre 5, que es la cantidad de periodos entre 1 y 6.

$$T_1 = \frac{A_6 - A_1}{5} = \frac{150 - 130}{5} = 4$$

3. A continuación, utilizando el pronóstico y el componente de tendencia iniciales de los meses 1 y 2, calculamos un pronóstico para las ventas en cada uno de los meses que nos llevan a un pronóstico para el mes 7:

Mes (t)	Ventas (miles de dólares) (A_t)	FT_t	+	$\alpha(A_t$	−	$FT_t)$	=	S_t
1	130	130	+	0.2 (130	−	130)	=	130.00
2	136	134	+	0.2 (136	−	134)	=	134.40
3	134	138.40	+	0.2 (134	−	138.40)	=	137.52
4	140	141.64	+	0.2 (140	−	141.64)	=	141.31
5	146	145.17	+	0.2 (146	−	145.17)	=	145.34
6	150	149.10	+	0.2 (150	−	149.10)	=	149.28

Mes (t)	Ventas (miles de dólares) (A_t)	T_{t-1}	+	$\beta(FT_t$	−	FT_{t-1}	−	$T_{t-1})$	=	T_t
1	130							conocido	=	4.00
2	136	4.00	+	0.3 (134	−	130	−	4.00)	=	4.00
3	134	4.00	+	0.3 (138.40	−	134	−	4.00)	=	4.12
4	140	4.12	+	0.3 (141.64	−	138.40	−	4.12)	=	3.86
5	146	3.86	+	0.3 (145.17	−	141.64	−	3.86)	=	3.76
6	150	3.76	+	0.3 (149.10	−	145.17	−	3.76)	=	3.81

Mes (t)	Ventas (miles de dólares) (A_t)	S_{t-1}	+	T_{t-1}	=	FT_t
1	130			conocido	=	130.00
2	136	130	+	4.00	=	134.00
3	134	134.40	+	4.00	=	138.40
4	140	137.52	+	4.12	=	141.64
5	146	141.31	+	3.86	=	145.17
6	150	145.34	+	3.76	=	149.10
7	—	149.28	+	3.81	=	153.09

El ejemplo 3.7 podría haberse incorporado un componente de estacionalidad en los pronósticos, igual que se hizo en el ejemplo 3.4. Sería necesario desarrollar los índices estacionales para cada estación, mismos que permitirían desestacionalizar los datos, utilizando las fórmulas de la tabla 3.7 para desarrollar pronósticos desestacionalizados, y finalmente, se emplearían los índices para volver a insertar los patrones estacionales en los pronósticos.

La suavización exponencial es un caso especial del *modelo Box-Jenkins*, cuyos métodos de autocorrelación examinan los puntos de datos históricos reales y les ajustan una función matemática, misma que se convierte entonces en el modelo de pronóstico para estimaciones futuras. Disponible en muchos paquetes estándar de pronóstico por computadora, se considera a este método como el más preciso de todos los métodos de pronóstico a corto plazo. Sin embargo, se requieren de aproximadamente 60 puntos de datos y de cierto tiempo para obtener resultados de pronóstico, además de que es relativamente costoso su uso. Éstos y otros desarrollos en los pronósticos de suavización exponencial la convierten en una fuerza poderosa para el pronóstico a corto plazo.

Ahora que hemos examinado algunos métodos y problemas de pronóstico, concluimos el capítulo considerando cómo poder tener un sistema de pronósticos de éxito y analizando los tipos de software disponibles para ellos.

Cómo tener un método de pronóstico exitoso

La figura 3.1 ilustró el papel del pronóstico en la planeación de los negocios. Algunas de las razones de un mal pronóstico se encuentran en la tabla 3.8. De particular importancia es considerar la manera de seleccionar el método de pronóstico y cómo controlar el modelo de pronóstico.

Cómo seleccionar un método de pronóstico

Al seleccionar un método de pronóstico se deben considerar varios factores: 1) costo, 2) precisión, 3) datos disponibles, 4) lapso de tiempo, 5) naturaleza de los productos y servicios, 6) respuesta de impulso y amortiguación de ruido.[5]

Costo y precisión Al seleccionar un método de pronóstico, se presenta un dilema entre costo y precisión; en otras palabras, para obtener más precisión en el pronóstico es necesario incurrir en un mayor costo. Los procedimientos de elevada precisión utilizan más datos, los datos por lo general son más difíciles de obtener, y los modelos tienen un diseño más costoso, son más caros de poner en práctica y de operar. Métodos como los modelos estadísticos, las analogías históricas y el consenso de comité ejecutivo tienden a ser de costo bajo o moderado, en tanto que los modelos econométricos complejos de Delfos, y la investigación de mercados tienden a ser más caros y requieren más tiempo para utilizarse. Cada organización debe resolver el dilema de acuerdo con su propia situación.

Las Instantáneas Industriales 3.2, 3.3 y 3.4 contrastan tres diferentes procedimientos para el pronóstico. El primero describe un sistema de pronóstico costoso y complejo, el segundo un sistema de pronóstico muy económico y simple, y el tercero describe un sistema dinámico para la selección de modelos de pronóstico. El hecho de que las tres organizaciones aparentemente estén satisfechas con la precisión y el costo de su sistema de pronóstico, demuestra que no existe un procedimiento único que sea apropiado para todas las situaciones. En muchas ocasiones, métodos simples y baratos tienden a proporcionar pronósticos que son tan precisos como los modelos de pronóstico más complejos y de costo elevado.

Tabla 3.8 ALGUNAS RAZONES PARA UN MAL PRONÓSTICO

1. Omisión de la empresa de involucrar una amplia sección del personal en los pronósticos. El esfuerzo individual es importante, pero también lo es la necesidad de involucrar a todos aquellos que tengan información pertinente y que deberán ponerlo en práctica.
2. Omisión en reconocer que el pronóstico forma parte integral de la planeación empresarial (vea la figura 3.1).
3. Omisión en reconocer que los pronósticos siempre están equivocados. Las estimaciones del futuro están destinadas a estar sujetas a error y la magnitud del error tiende a ser mayor en pronósticos que cubren periodos de tiempo extremadamente largos o cortos. Cuando los gerentes de operaciones abrigan expectativas no realistas sobre sus pronósticos, el hecho que éstos no resultan exactos a menudo se utiliza como excusa para un mal desempeño en las operaciones.
4. Omisión en pronosticar las cosas correctas. Las organizaciones pueden pronosticar la demanda de materias primas que tienen que incorporarse en los productos terminados. La demanda de las materias primas no necesita pronosticarse, porque dicha demanda puede calcularse a partir de los pronósticos de productos terminados. Pronosticar demasiadas cosas puede sobrecargar al sistema de pronósticos y hacer que resulte demasiado costoso y pesado.
5. Omisión en seleccionar un método apropiado de pronóstico.
6. Omisión en llevar control del desempeño de los modelos de pronóstico, de forma que se pueda mejorar su precisión. Los modelos de pronóstico pueden modificarse según se requiera para controlar su desempeño.

INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 3.2

USO DE UN SISTEMA EXPERTO DE PRONÓSTICO EN XEROX

La forma en que se hacen pronósticos en Xerox Corporation ha cambiado. En la antigua manera de desarrollar pronósticos de ventas, siete analistas utilizaban un conjunto de modelos de pronóstico y de métodos. En un extremo, hacían gráficas de modelos históricos, extrapolándolos hacia el futuro para los muchos tipos de copiadoras de su línea de productos. Estas gráficas se circulaban a todos los interesados y grupos contribuyentes dentro de la corporación. En el extremo opuesto, otros analistas utilizaban hojas de cálculo de computadora. Todo este abanico laborioso de métodos y procedimientos para desarrollar pronósticos tomaba tanto tiempo, que el equipo de pronóstico empezaba a trabajar en el pronóstico del año siguiente a mediados del año actual, y apenas si tenía el tiempo suficiente para desarrollar pronósticos de 12 meses hacia el futuro. Este procedimiento era tan laborioso y los pronósticos tan poco precisos que Xerox hizo un esfuerzo para desarrollar un sistema experto que realizara la mayor parte de los pronósticos.

Se necesitaron dos años para desarrollar el sistema experto, pero ahora los analistas pueden esperar hasta octubre para empezar a desarrollar los pronósticos de ventas del año siguiente. El nuevo sistema desarrolla pronósticos hasta de tres años, lo que da a la empresa una visión a más largo plazo para la planeación de los negocios. Y esto no es todo; el sistema monitorea continuamente su propio desempeño y actualiza sus parámetros, de manera que la precisión del pronóstico se está afinando continuamente. El tiempo ahorrado utilizando el sistema experto permite al equipo de pronóstico tomar en consideración el efecto de los impactos de factores como la inflación y la actividad de los competidores sobre las ventas futuras de Xerox.

Fuente: "Software Even a CFO Could Love." *Business Week*, 2 de noviembre, 1992, 132–135.

Datos disponibles Los datos que estén disponibles y que sean relevantes para los pronósticos son un factor importante en la selección del método de pronóstico. Por ejemplo, si las actitudes y las intenciones de los clientes son un factor relevante en los pronósticos y si estos datos pueden obtenerse de manera económica de los clientes, entonces una encuesta de clientes pudiera ser el método apropiado para el desarrollo de las estimaciones de la demanda. Por otra parte, si requiere pronosticar las ventas de un producto nuevo, entonces una encuesta de clientes pudiera no ser una forma práctica de desarrollar un pronóstico; quizás debieran utilizarse las analogías históricas, la investigación de mercados, el consenso de comité ejecutivo o algún otro método.

Tiempo La elección de un método apropiado de pronóstico queda afectada por la naturaleza del recurso de producción que se va a pronosticar. Los programas de mano de obra, de efectivo, de inventarios y de máquinas son de naturaleza a corto plazo y se pueden pronosticar utilizando modelos de promedios móviles o de suavización exponencial. Las necesidades de recursos de producción a largo plazo, como por ejemplo la capacidad de las fábricas y los fondos para bienes de capital, pueden estimarse mediante la regresión, el consenso de comité ejecutivo, la investigación de mercados y otros métodos más apropiados para pronósticos a largo plazo.

Naturaleza de productos y servicios Se aconseja que los gerentes utilicen diferentes métodos de pronóstico para productos distintos. Factores como si el producto es de volumen y costo elevado, si el producto es un bien manufacturado o un servicio, o en qué punto de su ciclo de vida está el producto, afecta la elección de un método de pronóstico.

Respuesta de impulso y amortiguación de ruido Como se indicó antes, en nuestro análisis de los pronósticos a corto plazo, debe equilibrarse lo que deseamos del modelo de pronóstico en lo que se refiere a su respuesta, como por ejemplo, ante cambios en los datos reales de la demanda, contra nuestro deseo de suprimir cualquier variación aleatoria indeseable, es decir, ruido en los datos. Cada modelo de pronóstico difiere en su respuesta de impulso y su amortiguación de ruido, y el modelo seleccionado debe ajustarse a la situación del pronóstico.

Una vez que los gerentes seleccionan el modelo de pronóstico a utilizar, debe llevarse un control del desempeño del modelo.

INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 3.3

PRONÓSTICO DE VENTAS DE SEÑALES LUMINOSAS EN OLIN CORPORATION

En Morgan Hill Works de Olin Corporation, ubicado en Morgan Hill, California, el gerente de planta Perry Spangler está planeando el programa de la producción de señales luminosas de ferrocarril en el primer trimestre del año entrante. Estos productos se venden a todos los ferrocarriles de importancia en Estados Unidos y se utilizan para señalización. Spangler sabe que los pronósticos de ventas no necesitan acercarse a las ventas reales, pero dado que la señal luminosa de ferrocarril es un artículo que se produce para inventarios, por lo general hay un amplio inventario a la mano para embarcar a los clientes en caso de impresiciones en los pronósticos.

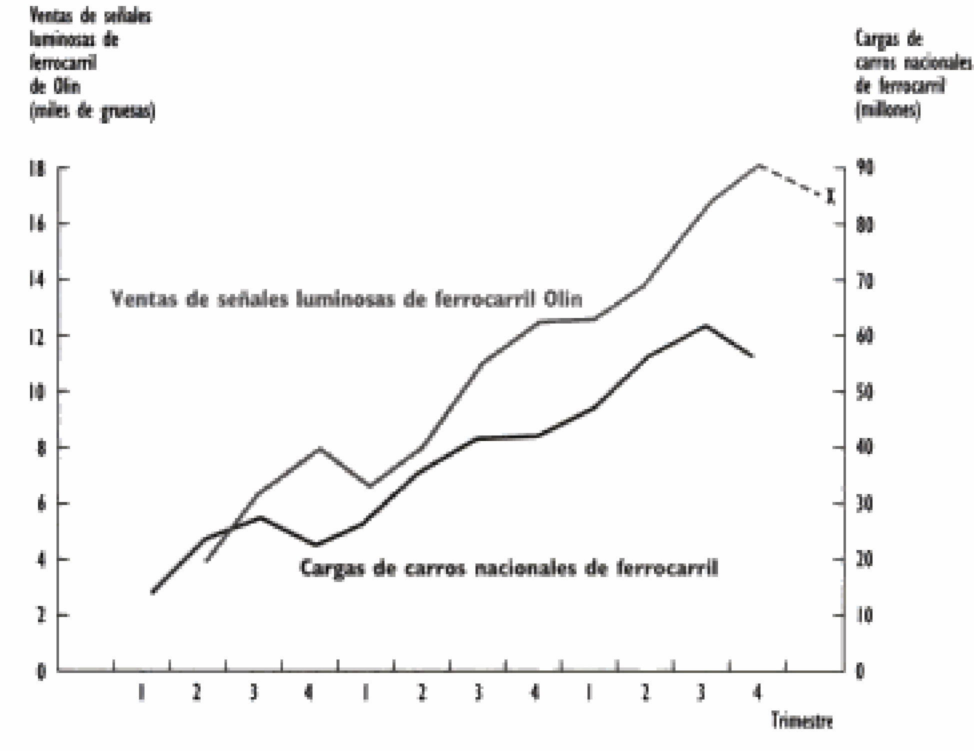
Durante varios trimestres, Spangler ha estado pronosticando las ventas de las señales luminosas de ferrocarril utilizando una simple técnica gráfica (figura 3.8). De un lado de la gráfica traza los millones de cargas de carros nacionales de ferrocarril de cada trimestre, información que localiza en una publicación del Departamento de Comercio de su biblioteca local; en el otro lado, traza las ventas de señales luminosas de ferrocarril de Olin en miles de gruesas (una gruesa = 144 señales luminosas). Spangler ha notado una relación muy cercana entre las cargas de carros de carga nacionales del trimestre anterior y las ventas de señales luminosas de ferrocarril del trimestre actual: las cargas de carros nacionales de ferrocarril en millones del trimestre anterior multiplicadas por 0.3 resultan aproximadamente igual a la venta de señales luminosas de ferrocarril en miles de gruesas del trimestre actual.

Por lo tanto, Spangler estima las ventas de los señales luminosas de ferrocarril del primer trimestre del año siguiente como sigue:

Ventas = 0.3 × 55 millones de cargas del cuarto trimestre
= 16.5, es decir 16,500 gruesas

Spangler supone que esta relación es lógica, porque las ventas de las señales luminosas de ferrocarril deberán estar relacionadas directamente con la cantidad de carros de ferrocarril en servicio. Está contento con la precisión de los pronósticos y la facilidad con la que los prepara.

FIGURA 3.8 VENTAS DE SEÑALES LUMINOSAS DE FERROCARRIL DE OLIN CORPORATION



INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 3.4

PRONÓSTICOS ENFOCADOS EN AMERICAN HARDWARE SUPPLY

Bernard Smith, de American Hardware Supply, desarrolló un sistema para seleccionar métodos de pronóstico, al que llamó procedimiento **pronósticos enfocados**, y se basaba en dos principios: (1) Los métodos de pronóstico más complejos y costosos no siempre dan los mejores pronósticos (2) no existe una sola técnica de pronóstico que deba ser utilizada para todos los productos y servicios.

El sistema de pronósticos en American Hardware Supply tenía que pronosticar cantidades de compra para aproximadamente 100 mil artículos adquiridos por los compradores de la empresa, quienes tendían a no utilizar el modelo antiguo de pronóstico de suavización exponencial para predecir las cantidades de compra, porque no comprendían o no confiaban en el modelo. En vez de ello, utilizaban procedimientos de pronóstico muy sencillos, como emplear para el periodo siguiente la cifra del periodo anterior de demanda de un artículo. Smith seleccionó siete métodos de pronóstico, incluyendo los sencillos utilizados por los compradores, el antiguo de suavización exponencial y algunos nuevos métodos estadísticos de pronóstico. Cada mes probó cada uno de los modelos para pronosticar la demanda de cada artículo. El modelo que resultaba ser el mejor pronóstico para un artículo era el usado para pronosticar la demanda de dicho artículo del mes siguiente.

Aunque los compradores suelen pasar por alto los pronósticos que resultan del pronóstico enfocado, el procedimiento está proporcionando excelentes pronósticos para American Hardware Supply.

Fuente: Bernard Smith. *Focus Forecasting: Computer Techniques for Inventory Control.* Essex Junction, VT: O. Wight Limited Publications, 1984.

CÓMO MONITOREAR Y CONTROLAR UN MODELO DE PRONÓSTICO

Es importante que se monitoree y controle el desempeño de los modelos de pronóstico. Una manera sencilla de ilustrar el monitoreo de los pronósticos es utilizando una **gráfica escalonada**. La figura 3.9 es un ejemplo de la gráfica escalonada utilizada en Intel Corporation.[6] Para interpretarla, considere el renglón correspondiente a marzo. El número 10 en la columna de febrero representa las ventas reales del mes, mismas que no se conocían hasta el 1 de marzo. El número 15 en la columna de marzo representa el pronóstico de marzo elaborado a principio de ese mes, y el número 16 en la columna de junio representa el pronóstico de junio elaborado al principio de marzo. Observe que examinando los números de las columnas, podemos comparar las ventas reales con pronósticos de antigüedades diferentes que se prepararon cada mes. Por ejemplo, en la columna de junio, podemos ver que los pronósticos de ese mes que se hicieron en marzo a través del periodo del 1 de junio eran demasiado optimistas. Este tipo de comparaciones permite juicios subjetivos sobre los patrones y magnitudes de los errores de pronóstico, de forma que pueda mejorarse la precisión de los pronósticos futuros.

Un sistema más preciso de vigilar y controlar los pronósticos es establecer límites superior e inferior sobre cuánto pueden deteriorarse las características de desempeño de un modelo, antes de que cambiemos los parámetros del mismo. Una manera común en la que podemos llevar control del desempeño de los modelos de pronóstico es utilizando lo que se conoce como **señal de seguimiento:**

$$\text{Señal de seguimiento} = \frac{\text{Suma algebraica de errores a lo largo de } n \text{ periodos}}{\text{Desviación media absoluta a lo largo de } n \text{ periodos}}$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^{n} (\text{Demanda real} - \text{Demanda pronosticada})_i}{\text{MAD}}$$

FIGURA 3.9 **GRÁFICA ESCALONADA DE LOS PRONÓSTICOS DE VENTAS EN INTEL CORPORATION**

Pronósticos de ventas mensuales

Pronósticos elaborados en	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
Enero	11	14	18	14							
Febrero	**11**	13	16	15	14						
Marzo		**10**	15	15	17	16					
Abril			**14**	16	16	16	14				
Mayo				**13**	16	15	16				
Junio					**13**	13	15	15	20		
Julio						**12**	15	18	16	17	
Agosto											

Nota: Los números en negro son ventas reales del mes

$$= \frac{\sum_{i=1}^{n} (\text{Demanda real} - \text{Demanda pronosticada})_i}{\dfrac{\sum_{i=1}^{n} |\text{Demanda real} - \text{Demanda pronosticada}|_i}{n}}$$

La señal de seguimiento mide el error de pronóstico acumulado a lo largo de n periodos en función de MAD. Por ejemplo, si la suma algebraica de los errores durante 12 periodos ha sido 1,000 unidades positivas y el MAD de esos mismos 12 periodos es de 250 unidades, entonces la señal de seguimiento es +4, lo que es muy elevado. Esto indica que los datos reales han sido superiores a los pronosticados en un total de +4 MAD durante 12 periodos, lo que es aproximadamente igual a $5s_{yx}$ dada la relación $s_{yx} = 1.25$ MAD. Si la suma algebraica de los errores durante ese periodo ha sido – 1,250 unidades y el MAD de esos mismos 12 periodos es de 250 unidades, entonces la señal de seguimiento es –5, que es muy baja, lo que indica que a lo largo de 12 periodos los datos reales han sido inferiores respecto a los pronósticos en un total de –5 MAD, lo que también puede considerarse igual a $6.25s_{yx}$. Si el modelo de pronóstico está desempeñándose bien, la señal de seguimiento debería ser prácticamente igual a cero, indicando que ha habido aproximadamente tantos puntos reales por encima del pronóstico como por debajo. La capacidad de la señal de seguimiento para indicar la dirección del error de pronóstico es muy útil porque indica si los pronósticos deben ser motivo de reducción o de incremento. Si la señal de seguimiento es positiva, incremente los pronósticos; de ser negativa, redúzcalos.

El valor de la señal de seguimiento puede utilizarse para disparar automáticamente nuevos valores de parámetros de los modelos, corrigiendo de esta manera su desempeño. Por ejemplo, podrían utilizarse reglas como las que se encuentran en la tabla 3.9 para modificar los parámetros del modelo de pronóstico. Pero no debemos suponer que α se incrementa siempre para reducir el error, ya que ello dependerá de los datos. No existen reglas universales; más bien, las reglas deben diseñarse a la medida por cada empresa para ajustar sus datos a través de la experimentación. Si se establecen límites para la señal de seguimiento muy bajos, entonces los parámetros del modelo de pronóstico necesitarán revisión demasiado a menudo, pero si se establecen límites de la señal de seguimiento muy amplios, entonces los parámetros del modelo de pronóstico no se modificarán con la frecuencia suficiente y la precisión de los pronósticos sufrirá.

TABLA 3.9 REGLAS DE UNA EMPRESA PARA MODIFICAR LA CONSTANTE DE SUAVIZACIÓN (α)

Límites para el valor absoluto de la señal de seguimiento	No cambie	Ligero: incrementa α en 0.1	Moderado: incrementa α en 0.3	Pánico: incrementa α en 0.5
0–2.4	✓			
2.5–2.9		✓		
3.0–3.9			✓	
Más de 4.0				✓

SOFTWARE PARA LOS PRONÓSTICOS

El personal del gobierno y de la industria que preparan pronósticos utilizan computadoras para efectuar muchos de sus cálculos. Para ello, se encuentran fácilmente disponibles numerosos programas estándar de cómputo basados en los modelos de pronóstico que se han presentado en este capítulo.

Los paquetes de software de la lista que sigue son ejemplo de programas que incluyen capacidades de pronóstico. Los tres primeros son principalmente para pronósticos y los últimos cuatro tienen incluidos módulos de pronóstico.

- *Forecast Pro*
- *AFS*
- *tsMetrix*
- *SAS*
- *SPSS*
- *SAP*
- *POM Computer Library* incluye promedio móvil, promedio móvil ponderado, suavización exponencial, suavización exponencial con tendencia, regresión de series de tiempo con rangos, regresión de series de tiempo estacionalizadas con rango, regresión lineal simple con rango y regresión lineal múltiple.

PRONÓSTICOS EN PEQUEÑAS EMPRESAS Y EN NEGOCIOS QUE INICIAN

Una característica de empresas pequeñas y de negocios que comienzan es que típicamente carecen de todo, desde capitales hasta área de piso y habilidades especializadas. Esto es particularmente cierto en capacidad de pronóstico; no quiere decir que estos negocios no efectúan pronósticos, ya que deben hacerlo, pero no tienen la masa crítica de personal para que participen en pronósticos, suficiente personal con el tiempo para efectuar estudios de pronósticos o, en algunos casos, las capacidades necesarias para desarrollar pronósticos satisfactorios.

La mayoría de los métodos de pronóstico de este capítulo probablemente estarían dentro de sus posibilidades. Casi con seguridad podrían utilizar algunos de estos métodos: consenso de comité ejecutivo, encuesta de la fuerza de ventas, encuesta de clientes, regresión de series de tiempo simples, y métodos de promedios móviles. Pero el pronóstico en estos negocios es difícil por las siguientes razones:

1. Estos negocios no tienen entornos ricos en datos.
2. Quizás no exista un historial de datos suficientemente largo.
3. El pronóstico para productos nuevos siempre es difícil y estas empresas quizás no tengan gran experiencia con productos nuevos o con éxitos y fallas de pronóstico.

Pero no todo está perdido: hay ayuda disponible para éstas y otras empresas con necesidades particulares de pronóstico. Existe gran cantidad de información y de datos disponibles de fuentes fuera de sus empresas. Una fuente de datos de pronóstico pueden ser las oficinas de gobierno en niveles local, regional, estatal y federal. Existe mucha información disponible sobre datos históricos y futuros esperados de las industrias, así como sobre la actividad económica regional prove-

TABLA 3.10 **FUENTES DE DATOS PARA PRONÓSTICOS**

- **Ventas de automóviles:** Cada 10 días por los fabricantes nacionales de automóviles.
- **Índice de confianza del consumidor:** Mensualmente por el Conference Board.
- **Índice de precios al consumidor:** Mensualmente por el Labor Department, inflación al detalle.
- **Bienes duraderos:** Mensualmente por el Commerce Department, nuevos pedidos para bienes manufacturados de larga vida.
- **Empleo:** Mensualmente por el Labor Department, tasa de desempleo y número de puestos disponibles.
- **Pedidos de fábrica:** Mensualmente por el Commerce Department, pedidos para bienes duraderos y no duraderos.
- **Producto interno bruto:** Trimestralmente por el Commerce Department, bienes y servicios en Estados Unidos.
- **Índice de la construcción:** Mensualmente por el Commerce Department.
- **Índice de indicadores económicos adelantados:** Mensualmente por el Commerce Department, una canasta de indicadores diseñados para predecir el estado de la economía con seis a nueve meses de adelanto.
- **Producción industrial:** Mensualmente por la Federal Reserve, el volumen de producción de fábricas, minas y servicios públicos estadounidenses.
- **Comercio de mercancías:** Mensualmente por el Commerce Department, volumen de bienes que Estados Unidos vende o compra en el extranjero.
- **Ingresos y consumos personales:** Mensualmente por el Commerce Department, crecimiento en negocios y consumo personal.
- **Índice de precios del productor:** Mensualmente por el Labor Department, inflación a nivel de mayorista.
- **Índice del gerente de compras:** Mensualmente por el National Association of Purchasing Management, poder de la economía manufacturera estadounidense.
- **Ventas al menudeo:** Mensualmente por el Commerce Department, desembolsos de los consumidores.

Fuente: "Which Indicators Are Truly Indicative of Economy's Health?" *Houston Chronicle,* 8 de agosto, 1993, 10E.

niente del U.S. Department of Commerce, el U.S. Department of Labor y del Office of the President. La tabla 3.10 lista algunas fuentes de datos disponibles. A nivel local, muchas cámaras de comercio han desarrollado gran cantidad de datos relacionados con la actividad económica de su área. Tal información y datos pueden proporcionar a las empresas pequeñas y negocios que empiezan, datos de la industria y económicos regionales que pueden combinarse con sus propios datos como bases de pronóstico.

También muchas asociaciones industriales cuentan con una enorme cantidad de información y datos sobre la actividad económica. El National Home Builders Association, la American Manufacturers Association, la American Bar Association, el Conference Board y otras asociaciones no lucrativas disponen de ricos recursos de información y datos para sus miembros. Estas asociaciones son un buen sitio para que los negocios pequeños y los que se están iniciando empiecen a desarrollar información sobre datos para pronósticos.

Otra fuente de ayuda para pronósticos son las empresas de consultoría. Los consultores gerenciales como Booz, Allen & Hamilton y Andersen Consulting pueden realizar estudios de profundidad de productos nuevos y estimar su potencial de ventas. Este tipo de servicios son utilizados de igual manera por negocios pequeños, los negocios que arrancan, y las grandes empresas, particularmente en el caso de productos nuevos, para los cuales las empresas tienen poca o ninguna experiencia. Los consultores de las grandes empresas nacionales de consultoría pueden obtener datos de fuentes no disponibles para el cliente. Por ejemplo, gracias a su red de clientes, estas personas tienen acceso a muchas empresas con productos competidores o similares. Aunque son costosos para los negocios pequeños y que empiezan, los consultores gerenciales proporcionan una fuente de servicios de pronóstico de ventas.

RECOPILACIÓN

LO QUE HACEN LOS PRODUCTORES DE CLASE MUNDIAL

En la administración de la producción y de las operaciones los pronósticos consisten en estimar la demanda futura de productos y servicios y los recursos necesarios para su producción. Los pronósticos son parte integral de la planeación de los negocios; de su precisión depende la supervivencia, el crecimiento y la rentabilidad a largo plazo, así como la eficiencia y efectividad a corto plazo.

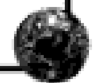
Los pronósticos a largo plazo por lo general abarcan un año o más, los pronósticos a mediano plazo varios meses y los pronósticos a corto plazo unas cuantas semanas. Ejemplos de los métodos cualitativos de pronóstico son el consenso de comité ejecutivo, el de Delfos, la encuesta de la fuerza de ventas, la encuesta de los clientes, la analogía histórica y la investigación de mercados. En este capítulo se demuestran los modelos cuantitativos de pronóstico de la regresión lineal y análisis de correlación, la regresión lineal estacionalizada, los promedios móviles, los promedios móviles ponderados, la suavización exponencial y la suavización exponencial con tendencia.

Los productores de clase mundial, grandes o pequeños, están organizados para tener métodos efectivos de pronóstico, porque tienen instalados sistemas excepcionales de planeación de negocios a largo plazo y los pronósticos forman parte integral de estos planes. Los planes de negocio a largo plazo penetran en toda la organización y afectan todas las facetas del negocio. Estos planes se actualizan a menudo, dado que las empresas tienen incorporada tanto la perspectiva de visión a futuro a largo plazo, que genera continuamente oportunidades de negocios, así como las acciones necesarias. Estos planes se desarrollan involucrando una gran variedad de personal de las diferentes funciones de la organización. Es literalmente tarea de todos la preparación de la planeación del negocio a largo plazo y todos se ven afectados por los pronósticos a largo plazo.

Dado que los pronósticos son parte integral de la planeación a largo plazo de los negocios, los productores de clase mundial desarrollan un esfuerzo formal de pronóstico. Los asesores especialistas mantienen software complejo capaz de incorporar grandes cantidades de datos. Estos especialistas también están suscritos a fuentes de pronóstico y de datos fuera de sus empresas, provenientes de muchas fuentes en todo el mundo. Se utilizan los grupos de investigación de sistemas bancarios, los centros de investigación de asociaciones gremiales industriales, la investigación universitaria, las publicaciones de dependencias gubernamentales y otras fuentes. Este esfuerzo se dirige a proporcionar las mejores estimaciones a largo plazo de las ventas de productos y servicios nuevos y existentes en los mercados mundiales, permitiendo de esta manera que los planes de negocio de las empresas incluyan las acciones necesarias para la captura de su participación en el mercado.

Los productores de clase mundial desarrollan métodos para vigilar el desempeño de sus modelos de pronóstico. Debido a que los planes de negocio se actualizan con frecuencia, es vital que reflejen cualquier desviación de importancia de los datos reales en comparación con los pronósticos. Este esfuerzo no sólo da como resultado planes de negocio que reflejen la información más actualizada, sino que permite que los modelos de pronóstico evolucionen, para que resulten con la mayor precisión posible para su tipo particular de aplicaciones.

Aunque los productores de clase mundial pueden estar inclinados hacia el largo plazo, ello no significa que pasen por alto el corto plazo. Lo que realmente tienen es una inclinación hacia la planeación y el control, y esto los lleva a desarrollar también excelentes pronósticos a corto plazo. Esto es particularmente cierto en la producción. El pronóstico efectivo de la capacidad de producción, el tamaño de la fuerza de trabajo, la cantidad de los materiales comprados, los niveles de inventario y de efectivo dan lugar a un estricto manejo del sistema de planeación de la producción. Este sistema asegura la producción oportuna de productos y servicios de la calidad más alta, al costo más bajo, con muy poco inventario y que al mismo tiempo se mantenga sensible a las necesidades de los clientes.



PREGUNTAS DE REPASO Y ANÁLISIS

1. ¿Qué es hacer un pronóstico?
2. Nombre tres razones fundamentales por las que los gerentes de operaciones deben pronosticar.
3. Nombre y describa tres métodos cualitativos de pronóstico utilizados en los negocios actuales. ¿Qué métodos cualitativos de pronóstico serían apropiados para productos nuevos?
4. Describa la manera en que los pronósticos son una parte integral de la planeación de los negocios.
5. Describa brevemente los pasos en el análisis de regresión lineal.
6. El análisis de regresión lineal se basa en la identificación de variables independientes y en la recolección de datos históricos para dichas variables. Nombre algunas variables independientes para poder pronosticar estas variables dependientes: a) demanda de servicios hospitalarios, b) estudiantes que se inscriben a escuelas de administración, c) ventas del puesto local de hamburguesas, d) servicios del departamento de policía del condado.
7. Nombre los cuatro componentes o patrones de datos de la demanda a largo plazo en los pronósticos.
8. Explique lo que significa dar *rangos a un pronóstico*.
9. Defina y describa el *coeficiente de correlación* y el *coeficiente de determinación*.
10. ¿Cuáles son los tres tipos de variaciones de la variable dependiente y en el análisis de regresión lineal? ¿Cómo están relacionados estos tres tipos de variación? ¿Cómo se calculan?
11. ¿Qué es el análisis de regresión múltiple? ¿En qué se distingue la regresión múltiple de la regresión lineal simple?

12. ¿Qué es la respuesta de impulso y la amortiguación de ruido? ¿Cómo se relacionan?
13. ¿Qué insumos se requieren en el análisis de regresión lineal? ¿Cuáles son los resultados de este análisis?
14. ¿Cuáles son las ventajas clave de los promedios móviles y de la suavización exponencial? ¿Cuáles son las desventajas?
15. Explique la forma en que el método de los promedios móviles se diferencia del método de promedios móviles ponderados. ¿Cuál del número de periodos promediados NP = 3 o NP = 5 tiene una respuesta de impulso más elevada? Explique.
16. ¿Son los pronósticos de suavización exponencial promedios ponderados? Explique.
17. ¿En qué difiere la suavización exponencial de la suavización exponencial con tendencia? ¿Por qué se conoce la suavización exponencial con tendencia como *suavización exponencial doble?*
18. ¿Qué es s_{yx}? ¿Cómo se calcula? ¿Cuáles son sus usos? ¿Qué es error medio cuadrático? ¿Cómo se calcula?
19. ¿Cuál es la desviación media absoluta? ¿Cómo se calcula? ¿Cuáles son sus usos?
20. Nombre tres razones comunes por las cuales los sistemas de pronóstico fracasan.
21. ¿Qué es la señal de seguimiento? ¿Cómo se calcula? ¿Cómo se utiliza?

TAREAS EN INTERNET



1. Busque en Internet sitios Web de empresas que produzcan software de pronóstico. Encuentre una empresa que enliste los métodos de pronóstico que aparecen en su software. Imprima esta página Web e indique la dirección del sitio Web donde encontró la información.
2. Busque en Internet un artículo reciente de revista o de algún periódico de importancia que se ocupe de pronósticos. Imprima o resuma este artículo e indique la dirección del sitio Web.



3. Visite el sitio WWW del *Institute of Business Forecasting* (**www.ibforecast.com/**) y localice la página de Web correspondiente a "Jobs in Forecasting". Haga una lista de empresas y de títulos de puestos. ¿En qué puesto estaría usted más interesado y por qué?

PROBLEMAS

Regresión simple

1. RCB manufactura aparatos de televisión en blanco y negro para los mercados del extranjero. Las exportaciones anuales durante los últimos seis años aparecen abajo en miles de unidades. Dada esta declinación a largo plazo de las exportaciones, pronostique el número esperado de unidades a exportar el año entrante.

Año	Exportaciones	Año	Exportaciones
1	33	4	26
2	32	5	27
3	29	6	24

2. Un pequeño hospital está planeando las necesidades de su ala de maternidad. Los datos que aparecen a continuación muestran el número de nacimientos en cada uno de los últimos ocho años.

Año	Nacimientos	Año	Nacimientos
1	565	5	615
2	590	6	611
3	583	7	610
4	597	8	623

a. Utilice la regresión lineal simple para pronosticar la cantidad anual de nacimientos para cada uno de los tres años siguientes.
b. Determine el coeficiente de correlación para los datos e interprete su significado.
c. Encuentre el coeficiente de determinación de los datos e interprete su significado.

Año	Construcción de viviendas (millones)	Ventas anuales de Comfort Zone (millones de dólares)
1	2.1	230
2	1.8	215
3	2.4	270
4	2.8	310
5	3.1	360
6	2.6	370
7	2.4	375

a. Desarrolle un análisis de regresión simple entre las ventas de CZC y la construcción de viviendas. Pronostique las ventas de CZC durante los siguientes dos años. El National Home Builders Association estima que la inversión en construcción de viviendas será de 2.6 millones y de 3.0 millones para los dos años siguientes.
b. ¿Qué porcentaje de variación en ventas de CZC queda explicado por la inversión en construcción de viviendas?
c. ¿Recomendaría usted que CZC utilizara el pronóstico del inciso a para planear una expansión de las instalaciones? ¿Por qué? ¿Qué podría hacerse para mejorar el pronóstico?

7. Chasewood Apartments es un complejo habitacional de 300 unidades cerca de Fairway University, y atrae principalmente a estudiantes universitarios. La gerente, Joan Newman, sospecha que la cantidad de unidades arrendadas durante cada semestre está influida por el número de estudiantes que se inscriben en la universidad. Las inscripciones en la universidad y el número de apartamentos alquilados durante los últimos ocho semestres es:

Semestre	Inscripciones a la universidad (miles)	Número de unidades arrendadas
1	7.2	291
2	6.3	228
3	6.7	252
4	7.0	265
5	6.9	270
6	6.4	240
7	7.1	288
8	6.7	246

a. Utilice un análisis simple de regresión para desarrollar un modelo para pronosticar el número de apartamentos arrendados con base en las inscripciones a la universidad. Si se espera que la inscripción para el semestre siguiente sea de 6,600 estudiantes, pronostique la cantidad de apartamentos que se alquilarán.
b. ¿Qué porcentaje de variación en unidades arrendadas queda explicado por las inscripciones en la universidad?
c. ¿Qué tan útil cree usted que sean las inscripciones a la universidad para pronosticar la cantidad de apartamentos arrendados?

Promedios móviles

8. La planta de IPC estima la demanda semanal de los muchos materiales que tiene en inventario. Está estudiando uno de estos componentes, el CTR 5922. Las 12 semanas más recientes de demanda para el CTR 5922 son:

Semana	Demanda (unidades)	Semana	Demanda (unidades)	Semana	Demanda (unidades)	Semana	Demanda (unidades)
1	169	4	171	7	213	10	158
2	227	5	163	8	175	11	188
3	176	6	157	9	178	12	169

Utilice el método de promedios móviles para pronósticos a corto plazo, con un promedio de tres semanas, para desarrollar para la semana 13 un pronóstico de la demanda para el componente CTR 5922.

9. Holiday Lodge es un gran hotel y casino en Lago Tahoe, California. El hotel es relativamente nuevo, de dos años, y el gerente está intentando desarrollar un plan para el personal del departamento de mantenimiento. El gerente del hotel desea utilizar los dos años de datos que aparecen a continuación para pronosticar con un mes de anticipación la cantidad de llamadas para mantenimiento.

Mes	Llamadas por mantenimiento	Mes	Llamadas por mantenimiento	Mes	Llamadas por mantenimiento
1	46	9	9	17	12
2	39	10	13	18	14
3	28	11	18	19	16
4	21	12	15	20	12
5	14	13	12	21	13
6	16	14	6	22	9
7	14	15	19	23	14
8	13	16	9	24	15

a. Desarrolle pronósticos de promedio móvil para los últimos diez meses (meses 15-24) con número de periodos promediados de 2, 4, 6 y 8 meses.
b. ¿Qué cantidad de periodos promediados da como resultado el error de pronóstico medio absoluto más bajo? ¿Qué número de periodos promediados recomendaría usted? ¿Por qué?
c. Utilizando la cantidad de periodos promediados que usted recomienda, pronostique el número de llamadas para mantenimiento para el mes siguiente (mes 25).

10. El gerente del Holiday Lodge del problema 9 se pregunta si los datos del pasado más reciente tienen mayor importancia que los más antiguos. Suponga que la cantidad de llamadas para mantenimiento del mes 25 se pondera en 0.5 y los pesos de los meses anteriores se reducen de manera secuencial por un factor de 0.5 (es decir, 0.5, 0.25, 0.125, etcétera).
a. Desarrolle los pesos o coeficientes de ponderación a utilizarse en el pronóstico de promedios móviles ponderados.
b. Utilice los pesos del inciso a para pronosticar la cantidad de llamadas para mantenimiento para el mes 25 de los datos del problema 9 si la cantidad de periodos promediados = 10.

11. La cantidad de auditores fiscales que necesita el Internal Revenue Service de Texas varía de un trimestre a otro. Los últimos 12 trimestres aparecen a continuación:

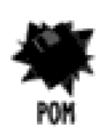
Año	Trimestre	Auditores
1	1	132
	2	139
	3	136
	4	140
2	1	134
	2	142
	3	140
	4	139
3	1	135
	2	137
	3	139
	4	141

a. Utilice los promedios móviles para pronosticar la cantidad de auditores que se necesitan durante el trimestre siguiente, si la cantidad de periodos promediados = 2, si el número de periodos promediados = 4 y si la cantidad de periodos promediados = 6.
b. ¿Cuál de estos pronósticos, con base en la desviación media absoluta, despliega mayor precisión de pronóstico a lo largo de los últimos seis trimestres de datos históricos?



12. Utilizando los datos del problema 2, determine si deberá utilizarse un número de periodos promediados = 1, una cantidad de periodos promediados = 2 o una cantidad de periodos promediados = 4 para desarrollar pronósticos de promedio móvil, de forma que el MAD de los últimos cuatro periodos se reduzca al mínimo. Considerando el patrón de datos del pasado, ¿por qué se esperaría que este valor de la cantidad de periodos promediados nos diera una precisión de pronóstico mayor?

Suavización exponencial



13. The Sporting Charge Company adquiere grandes cantidades de cobre que se emplean en sus productos manufacturados. Bill Bray está desarrollando un sistema de pronóstico para los precios del cobre. Ha acumulado estos datos históricos:

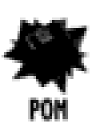
Mes	Precio del cobre/ libra	Mes	Precio del cobre/ libra
1	$0.99	9	$0.98
2	0.97	10	0.91
3	0.92	11	0.89
4	0.96	12	0.94
5	0.93	13	0.99
6	0.97	14	0.95
7	0.95	15	0.92
8	0.94	16	0.97

a. Utilice la suavización exponencial para pronosticar los precios mensuales del cobre. Calcule cuáles hubieran sido los pronósticos para todos los meses de datos históricos, con $\alpha = 0.1$, $\alpha = 0.3$, y $\alpha = 0.5$, si para todas las α el pronóstico del primer mes fue de 99 centavos de dólar.
b. ¿Qué valor de alfa (α) resulta a lo largo del periodo de 16 meses en una desviación media absoluta más baja?
c. Utilizando el alfa (α) del inciso b, pronostique el precio del cobre para el mes 17.

14. Bill Bray desea comparar dos sistemas para el pronóstico de precios del cobre de los datos del problema 13: promedios móviles (cantidad de periodos promediados = 3) y suavización exponencial ($\alpha = 0.3$).
   a. Calcule los dos conjuntos de pronósticos mensuales a lo largo de los últimos 10 meses (del 7 al 16). El pronóstico de suavización exponencial del mes 6 fue de 54 centavos de dólar.
   b. Trace en una gráfica, para cada uno de los últimos 10 meses, ambos pronósticos en función de los precios reales del cobre. ¿A qué conclusiones puede usted llegar en relación con la gráfica?
   c. Seleccione el mejor sistema y pronostique los precios del cobre para el mes siguiente.

15. En el problema 8, si se utiliza una constante de suavización de 0.25 y el pronóstico de suavización exponencial de la semana 11 fue de 170.76 unidades, ¿cuál es el pronóstico de suavización exponencial correspondiente a la semana 13?

16. En los problemas 8 y 15, ¿cuál sería el método de pronóstico preferido: el método de promedios móviles con cantidad de periodos promediados = 3, o el método de suavización exponencial, con $\alpha = 0.25$? El criterio para elegir entre los métodos es la desviación media absoluta a lo largo de las nueve semanas más recientes. Suponga que el pronóstico de suavización exponencial para la semana 3 es la misma que la demanda real.



17. Utilizando los datos del problema 2, determine si para desarrollar pronósticos de suavización exponencial debería utilizarse una constante de suavización $\alpha = 0.1$, $\alpha = 0.5$, o $\alpha = 0.9$, de forma que MAD quede minimizado a lo largo de ocho periodos. Suponga que el pronóstico del primer periodo es de 565. ¿Por qué se habría previsto que este valor de α tendría la mejor precisión de pronóstico?

18. Utilice los datos del problema 2 para desarrollar un pronóstico para el año 9, utilizando el modelo de suavización exponencial con tendencia. Inicie su análisis en el año 4: FT4 = 497, T4 = 7, $\alpha = 0.4$, y $\beta = 0.3$.

19. Utilice los datos del problema 3 para desarrollar un pronóstico para el año 7 utilizando el modelo de suavización exponencial con tendencia. Inicie su análisis en el año 1 y suponga que $\alpha = 0.3$ y $\beta = 0.2$. Estime FT_1 y T_1, como en el ejemplo 3.7.

Regresión múltiple

20. General Computer Services (GCS) suministra en la región de Seattle, Washington, servicios de cómputo a pequeños fabricantes, bajo pedido. Los trabajos generalmente incluyen procesamientos rutinarios de datos y de cómputo para aumentar el aprovechamiento de las computadoras en las instalaciones de los clientes. Un analista de producción de GCS ha desarrollado una ecuación de regresión lineal que estima el número de horas de facturación de una orden de servicio:

$$Y = 19.0 + 0.075X_1 + 5.95X_2 + 25.50X_3$$

donde:

Y = cantidad de horas de facturación por orden de servicio
X_1 = cantidad de órdenes en el pasado del cliente durante los últimos cinco años
X_2 = número de la semana en el mes cuando se recibió la orden (1, 2, 3 y 4)
X_3 = inverso del número de empleados de servicio de computación en las instalaciones del cliente
$R^2 = 0.89$

a. Estime la cantidad de horas de facturación requeridos en la siguiente orden, donde $X_1 = 150$, $X_2 = 2$, y $X_3 = 5$.
b. ¿Cuál es el significado de $R^2 = 0.89$?

21. Omega Engineering de Omaha, Nebraska, modifica todos los trimestres el tamaño de su personal de ingeniería en función de la demanda. En el pasado, la cantidad de ingenieros que se necesitaba había estado relacionado con el número de licencias de construcción comerciales emitidas por la ciudad, la cantidad de empresas de manufactura en el área y el producto interno bruto norteamericano. Omega ha desarrollado este modelo de pronóstico de regresión múltiple para la cantidad de ingenieros que necesita cada trimestre:

$$Y = -96.651 + 0.228X_1 + 0.094X_2 + 13.077X_3$$

donde:

Y = cantidad de ingenieros que se necesita el siguiente trimestre
X_1 = número de licencias de construcción comerciales emitidas el último trimestre
X_2 = número de empresas de manufactura en el área
X_3 = producto interno bruto estadounidense trimestral más reciente (millones de millones de dólares)

Ahora es el momento en que Omega tiene que planear sus necesidades de personal del siguiente trimestre. Los registros de la ciudad muestran que en el último trimestre se emitieron 81 licencias de construcción comerciales y en el área actualmente están ubicadas 212 empresas de manufactura. El producto interno bruto de Estados Unidos trimestral más reciente fue de seis billones 270 mil millones de dólares.

a. Utilice el modelo de pronóstico de regresión múltiple para desarrollar un pronóstico para la cantidad de ingenieros que se necesita el siguiente trimestre.
b. Explique los supuestos implícitos en su pronóstico.

22. La Burling Company ha observado que sus ventas mensuales parecen estar relacionadas con el número de vendedores que contrata, con la cantidad gastada por publicidad y con el precio de su producto. Ha desarrollado un modelo de pronóstico de ventas de regresión múltiple:

$$Y = 12{,}348 + 657X_1 + 0.469X_2 - 240X_3$$

donde:

Y = cantidad de unidades vendidas en un mes
X_1 = cantidad de vendedores contratados
X_2 = monto en dólares desembolsado en publicidad en un mes
X_3 = precio cargado por una unidad de producto

El gerente de ventas de Burling desea un pronóstico de ventas para el mes siguiente, si se utilizan 17 vendedores, se desembolsan 21 mil dólares en publicidad y el precio se fija en 31.99 dólares.

a. Utilice el modelo de pronóstico de regresión múltiple para desarrollar un pronóstico para el número de unidades del producto que se venderán el mes siguiente.
b. Explique los supuestos implícitos en su pronóstico.

Establecimiento de rangos en el pronóstico

23. De los datos del problema 2:
   a. Calcule el error estándar del pronóstico.
   b. Determine los límites de confianza superior e inferior que se pueden estimar para el pronóstico del año 11 si se utiliza un nivel de significancia de 0.01.

24. De los datos del problema 3, ¿cuál es el rango del pronóstico para el año siguiente, si se utiliza un intervalo de confianza de 95%?

25. De los datos del problema 5:
   a. Si usted todavía no lo ha hecho, calcule el pronóstico de los ingresos por ventas de IPC para el año que viene.
   b. ¿Cuál es el rango del modelo de pronóstico de ingresos de ventas de IPC para el año que viene si se utiliza un nivel de significancia de 0.01% (un intervalo de confianza de 99%)?

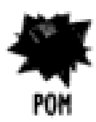
26. De los datos del problema 7:
   a. Calcule el pronóstico de las unidades de apartamentos arrendadas el siguiente semestre, si se espera que las inscripciones a la universidad sean de 6,600 estudiantes.
   b. Determine el rango del pronóstico para las unidades de apartamento arrendadas del siguiente semestre si se utiliza un nivel de significancia de 10% (intervalo de confianza de 90%).
   c. Determine la probabilidad de que el número real de unidades de apartamentos arrendados durante el siguiente semestre quede dentro de 10 unidades de su pronóstico. ¿Cuál es la probabilidad en un rango de cinco unidades?

Pronósticos estacionalizados

27. Un fabricante de computadoras desea desarrollar los pronósticos trimestrales de los ingresos por ventas del año siguiente de su línea de computadoras personales. La empresa cree que los ocho trimestres más recientes de ventas deben ser representativos de las ventas del próximo año:

Año	Trimestre	Ventas (millones de dólares)	Año	Trimestre	Ventas (millones de dólares)
1	1	9.2	2	1	10.3
1	2	5.4	2	2	6.4
1	3	4.3	2	3	5.4
1	4	14.1	2	4	16.0

Utilice el análisis de regresión de series de tiempo estacionalizadas para desarrollar un pronóstico de los ingresos por ventas del año que viene para la línea de computadoras personales.



28. Un distribuidor de tractores ha estado operando durante tres años y medio y necesita estimar las ventas del año que viene. Las ventas de los años pasados han tendido a ser estacionales, como se observa a continuación:

	Ventas trimestrales (número de productos)			
Año	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4
1				32
2	49	72	114	41
3	55	88	135	44
4	60	93	149	49
5	63			

a. Desarrolle pronósticos para los siguientes cuatro trimestres.
b. Desarrolle un intervalo de confianza de 90% para cada uno de sus pronósticos.

29. Servco, una gran empresa de servicios de almacén en el Chicago suburbano, almacena productos farmacéuticos para sus clientes, mientras éstos están en tránsito hacia los detallistas locales. En su instalación actual Servco puede almacenar un máximo de 325 mil cajas de productos. Dado que el volumen de su negocio está creciendo, la administración de la empresa se pregunta si deberían adquirir otros almacenes. Un analista ha acumulado estos datos de demanda:

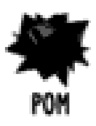
Año	Trimestre	Inventario (miles de cajas)	Año	Trimestre	Inventario (miles de cajas)	Año	Trimestre	Inventario (miles de cajas)
1	1	205	2	1	220	3	1	240
1	2	180	2	2	190	3	2	210
1	3	210	2	3	230	3	3	265
1	4	230	2	4	250	3	4	280

a. Utilice el análisis de serie de tiempo estacionalizada para pronosticar los niveles de inventario para cada uno de los cuatro trimestres del año que viene.
b. Encuentre los límites superior e inferior de la capacidad de los inventarios con un intervalo de confianza de 95%.
c. ¿Deberá Servco adquirir más capacidad de almacén?

30. De los datos del problema 11:
a. Utilice promedios móviles para pronosticar la cantidad de auditores necesarios en el primer trimestre del año que viene si número de periodos promediados = 4 y cantidad de periodos promediados = 8.
b. ¿Reflejan estos pronósticos un patrón estacional? ¿Por qué?
c. Desarrolle índices estacionales trimestrales de los datos originales. Aplique el índice estacional apropiado a sus pronósticos del inciso a.

CASOS

SAN DIEGO RETAILERS



El presidente y director general de San Diego Retailers está estudiando la información de ventas más reciente de la empresa. Ha llamado a una reunión a todos los vendedores de la región, que ocurrirá dentro de una semana, y está intentando estimar los niveles de ventas que deberían esperarse de su empresa a lo largo de los siguientes tres meses. Es necesario que tenga esta información, de forma que se puedan establecer cuotas de ventas individuales para cada uno de los vendedores. Su personal ha acumulado estos datos de ventas históricos:

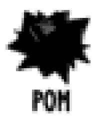
Año 1	Ventas (millones de dólares)	Año 2	Ventas (millones de dólares)	Año 3	Ventas (millones de dólares)
Enero	4.1	Enero	4.6	Enero	4.7
Febrero	5.1	Febrero	5.4	Febrero	5.6
Marzo	3.5	Marzo	3.6	Marzo	4.1
Abril	2.4	Abril	3.1	Abril	2.8
Mayo	4.2	Mayo	4.3	Mayo	4.6
Junio	8.3	Junio	8.8	Junio	9.1
Julio	9.6	Julio	10.5	Julio	11.9
Agosto	10.1	Agosto	12.2	Agosto	13.1
Septiembre	8.0	Septiembre	8.5	Septiembre	9.0
Octubre	5.4	Octubre	5.6	Octubre	6.1
Noviembre	3.2	Noviembre	3.8	Noviembre	4.1
Diciembre	4.2	Diciembre	3.9	Diciembre	4.4

Estos patrones y tendencias de ventas se espera continúen.

Tarea

1. Trace los datos de ventas sobre una gráfica y examínelos.
2. De su gráfica de la tarea 1, ¿qué patrones están presentes? ¿Qué modelos de pronóstico serían apropiados, partiendo de estos datos, para efectuar pronósticos a corto plazo?
3. Utilice el *POM Computer Library*, y determine, si se aplicara a estos datos el modelo de suavización exponencial con tendencia, ¿qué valores de alfa y beta dan como resultado el valor más bajo de desviación media absoluta de estos datos a lo largo de los últimos doce meses.
4. Utilice *POM Computer Library* y el análisis de regresión de series de tiempo estacionalizadas para desarrollar un pronóstico para las ventas de los siguientes tres meses. ¿Cuánto confía usted en estos pronósticos? Desarrolle un enunciado estadístico sobre el pronóstico del siguiente mes (año 4, enero) que refleje su nivel de confianza si usa un intervalo de confianza de 95%.
5. En base a lo que usted encuentre en las tareas 3 y 4, ¿recomendaría usted que la empresa utilizara la suavización exponencial con tendencia, o el análisis de la regresión de series de tiempo estacionalizadas? En este caso ¿cuáles serían los pros y los contras de cada uno de estos métodos?

CHASEWOOD APARTMENTS



En el problema 7, Joan Newman acaba de terminar un análisis de regresión simple de la relación entre inscripciones a la universidad y número de apartamentos arrendados. Newman sospecha que la cantidad de unidades arrendadas también pudiera quedar afectado por el precio promedio de renta de los apartamentos. Ella ha recolectado la información siguiente:

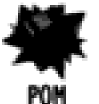
Semestre	Inscripciones a la universidad (miles)	Precio promedio del arrendamiento (dólares)	Número de unidades arrendadas
1	7.2	450	291
2	6.3	460	228
3	6.7	450	252
4	7.0	470	265
5	6.9	440	270
6	6.4	430	240
7	7.1	460	288
8	6.7	440	246

Tarea

Utilice el *POM Computer Library*, para que le auxilie a responder estas preguntas:

1. Si no lo ha hecho en el problema 7, efectúe un análisis de regresión simple para pronosticar el número de apartamentos arrendados, con base únicamente en inscripciones en la universidad. ¿Cuál es su pronóstico, si se espera que las inscripciones sean de 6,600 estudiantes? ¿Qué porcentaje de variación en el número de unidades arrendadas queda explicado por inscripciones en la universidad? Evalúe las bondades de este modelo de pronóstico.
2. Realice un análisis de regresión simple para pronosticar el número de apartamentos arrendados con base únicamente en el precio promedio de arrendamiento. ¿Cuál es su pronóstico, si el precio promedio de arrendamiento es de 455 dólares? ¿Qué porcentaje de variación en la cantidad de unidades arrendadas queda explicado por el precio promedio de arrendamiento? Evalúe las bondades de este modelo de pronóstico.
3. Efectúe un análisis de regresión múltiple para pronosticar el número de apartamentos arrendados, con base tanto en inscripciones a la universidad como en el precio promedio de arrendamiento. ¿Cuál es su pronóstico, si las inscripciones a la universidad se espera sean de 6,500 estudiantes y el precio promedio de arrendamiento de 465 dólares? ¿Qué porcentaje de la variación en el número de unidades arrendadas queda explicado por este modelo? Evalúe las bondades de este modelo de pronóstico.
4. ¿Cuál de los modelos de pronóstico arriba citados le recomendaría usted a Joan Newman? ¿Por qué?
5. Con base en su modelo de regresión múltiple y su pronóstico de la tarea 3, ¿cuál sería el impacto financiero neto, si el precio del arrendamiento del apartamento se incrementara en seis dólares? ¿Cuál es su recomendación para el establecimiento del precio del arrendamiento de los departamentos?

SUNDANCE CHEMICAL COMPANY


POM

Tyler Jones acaba de ser contratado como nuevo gerente de producción en Sundance Chemical Company (SCC). Cree que su primera acción debería ser desarrollar sus propios pronósticos de ventas para el producto químico más importante de la empresa. Jones solicitó a su asistente que recolectara datos de las ventas trimestrales correspondientes a los últimos 10 años, según se muestra a continuación:

	Ventas trimestrales (miles de galones)			
Año	**Q_1**	**Q_2**	**Q_3**	**Q_4**
1	594	570	560	565
2	540	531	515	498
3	485	479	463	456
4	319	324	336	340
5	348	355	354	367
6	375	379	385	396
7	404	416	422	430
8	436	439	450	459
9	470	475	485	489
10	505	513	516	518

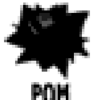
El presidente de SCC ha quedado descontento en años recientes por la poca precisión en los pronósticos del gerente de producción anterior. A fin de dar una buena impresión a la gerencia superior, Tyler Jones tiene la intención de llevar a cabo un análisis total de los pronósticos a fin de pronosticar las ventas de los siguientes cuatro trimestres.

Tarea

Utilice el *POM Computer Library,* para ayudarse en su respuesta a estas preguntas:
1. Grafique los datos. ¿Qué tipo de patrones se observan?
2. Decida cuánto de los datos del pasado se deberá utilizar para desarrollar un modelo de pronóstico. Dé una explicación que justifique su decisión.
3. ¿Qué métodos de pronóstico del capítulo serían los más apropiados para evaluación? ¿Por qué?

4. Utilizando sólo los datos que usted decida del inciso 2, decida si deberían utilizarse la regresión de serie de tiempo o la suavización exponencial con tendencia ($\alpha = 0.4$, $\beta = 0.4$, pronóstico inicial = 319, tendencia inicial = 7), con base en un MAD calculado a lo largo de los últimos cuatro años.
5. Utilizando el método de pronóstico que usted haya recomendado en la tarea 4, pronostique las ventas del siguiente trimestre.

XYZ Inc.



María Cortés es analista de inversiones para un negocio de planeación financiera en Santa Rosa, California. Se le ha pedido que seleccione un modelo de pronóstico para predecir el precio de cierre del día siguiente de las acciones comunes de XYZ Inc. Cortés ha obtenido los precios de cierre de las acciones de los últimos 40 días, que aparecen a continuación:

Día	Precio	Día	Precio	Día	Precio	Día	Precio
1	43.50	11	41.25	21	44.50	31	45.00
2	42.75	12	42.00	22	44.50	32	44.00
3	42.75	13	42.00	23	43.75	33	43.75
4	42.00	14	42.75	24	44.75	34	44.00
5	42.25	15	43.00	25	45.25	35	43.25
6	42.50	16	43.50	26	45.25	36	43.75
7	41.50	17	42.75	27	45.00	37	43.00
8	41.25	18	43.00	28	45.50	38	42.00
9	41.75	19	44.25	29	45.75	39	42.25
10	41.25	20	44.00	30	44.75	40	41.75

Tarea

Utilice el *POM Computer Library* o software de hoja de cálculo, como Excel, para ayudarse con el análisis de pronóstico.

1. Trace los datos en una gráfica.
2. Pronostique los días 4 hasta el 40 utilizando estos procedimientos de pronóstico:
   a. Promedio móvil con número de periodos promediados = 1
   b. Promedio móvil con número de periodos promediados = 3
   c. Suavización exponencial con $\alpha = 0.4$ ($F_1 = 43.00$)
   d. Suavización exponencial con $\alpha = 0.8$ ($F_1 = 43.00$)
3. Utilice valores MAD basados en los días 4 a 40 para decidir cuál de los modelos de pronóstico elegir. Pronostique el día 41 utilizando este procedimiento.
4. Explique por qué se pudieran esperar métodos de pronóstico con una respuesta de impulso más elevada que sean más precisos que los métodos con una respuesta de impulso inferior para el pronóstico de los precios de acciones de un día al siguiente.

Notas finales

1. Georgoff, David M., and Robert G. Murdick. "Manager's Guide to Forecasting." *Harvard Business Review* 64 (enero-febrero 1986): 110–111.
2. "Compaq Expects to Be No. 1." *Dallas Morning News*, 1 de diciembre, 1994, 30A.
3. "Compaq's Slice of PC Pie Expands." *Houston Chronicle*, 27 de octubre, 1997, 7D.
4. "Compaq Beat Toshiba for September Sales of Notebook PCs." *Wall Street Journal*, 3 de noviembre, 1997, B6.
5. Georgoff and Murdick, "Manager's Guide to Forecasting," 112–119.
6. Grove, Andrew S. *High Output Management*, pp. 22–23. New York: Random House, 1983.

BIBLIOGRAFÍA SELECCIONADA

Bowerman, Bruce L., y Richard T. O'Connell. *Forecasting and Time Series: An Applied Approach*, tercera edición. Belmont, CA: Duxbury Press, 1993.

Box, George E. P., Gwilym M. Jenkins, y Gregory C. Reinsel. *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1994.

Brown, Robert G. *Smoothing, Forecasting and Prediction of Discrete Time Series*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1963.

Chambers, J. C., et al. "How to Choose the Right Forecasting Technique." *Harvard Business Review* 49, no. 4 (julio-agosto 1971): 45–74.

Fisher, Marshall L., Janice H. Hammond, Walter R. Obermeyer, y Ananth Raman. "Making Supply Meet Demand in an Uncertain World." *Harvard Business Review* 72, no. 3 (mayo-junio 1994): 83–89.

Galbraith, Craig S., y Gregory B. Merrill. "Politics of Forecasting: Managing the Truth." *California Management Review* 38, no. 2 (1996): 29–43.

Gardner, Everette S. "Exponential Smoothing: The State of the Art." *Journal of Forecasting* 4 (marzo 1984): 1–28.

Georgoff, David M., y Robert G. Murdick. "Manager's Guide to Forecasting." *Harvard Business Review* 64 (enero-febrero 1986): 110–123.

Jain, Chaman L., ed. *A Managerial Guide to Judgmental Forecasting*. Flushing, NY: Graceway Publishing Co., 1987.

Kwong, Kwok Keung, Cheng Li, Vladimir Simunek, y Chaman L. Jain. *Bibliography on Forecasting and Planning*. Flushing, NY: Graceway Publishing Co., 1995.

Makridakis, Spyros G. "Accuracy Measures; Theoretical and Practical Concerns." *International Journal of Forecasting* 9, no. 4 (1993): 527–529.

Makridakis, Spyros G. *Forecasting, Planning, and Strategy for the 21st Century*. Nueva York: The Free Press, 1990.

Makridakis, Spyros. "The Art and Science of Forecasting." *International Journal of Forecasting*" 2 (1986): 15–39.

Makridakis, Spyros G., Steven C. Wheelwright, and Rob J. Hyndman. *Forecasting: Methods and Applications*, tercera edición. Nueva York: Wiley, 1998.

Sanders, Nada R. "Measuring Forecast Accuracy: Some Practical Suggestions." *Production and Inventory Management Journal* 38, no. 1 (1997): 43–46.

Sanders, Nada R. "The Status of Forecasting in Manufacturing Firms." *Production and Inventory Management Journal* 38, no. 2 (1997): 32–36.

Smith, Bernard T. *Focus Forecasting: Computer Techniques for Inventory Control*. Essex Junction, VT: O. Wight Limited Publications, 1984.



PARTE II

DECISIONES ESTRATÉGICAS: *PLANEACIÓN DE PRODUCTOS, PROCESOS, TECNOLOGÍAS, E INSTALACIONES*

CAPÍTULO 4
Diseño y desarrollo de productos y de procesos de producción: operaciones de manufactura y de servicio

CAPÍTULO 5
Tecnología de la producción: selección y administración

CAPÍTULO 6
Asignación de recursos a alternativas estratégicas

CAPÍTULO 7
Planeación de capacidad a largo plazo y ubicación de instalaciones

CAPÍTULO 8
Disposición física de las instalaciones: manufactura y servicios

En el capítulo 2 de este libro se analizó la estrategia de las operaciones, que está incorporada en el plan de producción a largo plazo. Este plan especifica las estrategias de posicionamiento, el enfoque en la producción, en el producto y los procesos de producción y los planes tecnológicos, en la asignación de recursos a alternativas estratégicas, y en la planeación de las instalaciones. Una vez decididos estos puntos y puestos en su sitio, la estructura fundamental de la función de las operaciones ha quedado establecida. El éxito de las empresas estadounidenses en la competencia para una penetración en el mercado mundial descansa en gran medida en el uso de sistemas de producción como armas de competencia. Si esto ha de ocurrir, las organizaciones de producción deben ser flexibles, de tal forma que puedan responder mejor a las necesidades de los clientes y, al mismo tiempo, que sean capaces de producir productos y servicios competitivos tanto en calidad como en costo.

Para lograr este objetivo, el primer paso es diseñar y estructurar las operaciones con estas mejoras de desempeño en mente. Muchas decisiones estratégicas de las operaciones aparecen en la Parte II de este libro. De manera destacada están las decisiones sobre el diseño de los productos y de los procesos de producción, la selección de la tecnología de producción, la asignación de recursos escasos a alternativas estratégicas y la planeación de las instalaciones. Al tomar estas decisiones estratégicas, los gerentes de las operaciones deben resolver problemas como los siguientes: Dadas sus estrategias de operaciones, ¿qué diseños de producto y tipos de procesos de producción deberán seleccionarse? ¿Cuánta integración vertical es apropiado para nuestro negocio? ¿Qué nivel de tecnología de producción es apropiado para nuestros productos y servicios? ¿Qué tecnologías específicas de producción y de procesos se requieren para producir nuestros productos y servicios a los volúmenes demandados y a la calidad, costo y flexibilidad requeridas, así como los niveles de servicio de cliente? ¿Cómo deberíamos asignar nuestro capital, nuestro personal clave y el área de producción entre las principales líneas de productos para maximizar las utilidades? ¿Cuánta capacidad de producción se necesita en cada periodo para cada una de nuestras principales líneas de productos? ¿Qué instalaciones de producción son necesarias y dónde deben ubicarse? ¿De qué manera deben organizarse los pasos de los procesos de producción y los departamentos dentro de las instalaciones de producción?

El capítulo 4 se ocupa de los temas que giran alrededor de la determinación de los diseños de productos y procesos de manufactura y de las operaciones de servicio. El capítulo 5 analiza la selección y la administración de la tecnología de la producción. El capítulo 6 examina los pros y los contras, y los dilemas en los que frecuentemente se incurre en la asignación de recursos a alternativas estratégicas. El capítulo 7 se preocupa de la planeación de la capacidad a largo plazo y de la ubicación de las instalaciones. El capítulo 8 se refiere a la disposición física de las instalaciones: la disposición física de los trabajadores, departamentos y procesos de producción dentro de las instalaciones.

Capítulo 4

Diseño y desarrollo de productos y de procesos de producción: *operaciones de manufactura y de servicio*



Introducción

Diseño y desarrollo de productos y servicios
- *Fuentes de innovación de productos*
- *Desarrollo de nuevos productos*
- *Cómo introducir mas rápidamente nuevos productos en el mercado*
- *Cómo mejorar los diseños de productos existentes*
- *Diseño para facilidad de la producción*
- *Diseño para la calidad*
- *Diseño y desarrollo de nuevos servicios*

Planeación y diseño de los procesos

Factores principales que afectan las decisiones de diseño de los procesos
- *Naturaleza de la demanda de productos/servicios*
- *Grado de integración vertical*
- *Flexibilidad de la producción*
- *Grado de automatización*
- *Calidad del producto/servicio*

Tipos de diseños de procesos
- *Enfocado al producto*
- *Enfocado al proceso*
- *Tecnología de grupo/manufactura celular*

Interrelaciones entre diseño del producto, diseño del proceso y política de inventarios

Diseño de procesos en los servicios

Decisión entre alternativas de procesamiento
- *Tamaño de los lotes y diversidad de los productos*
- *Necesidades de capital para los diseños de procesos*
- *Análisis económico*
- *Diagramas de ensamble*
- *Diagramas de proceso*

Recorridos de plantas
- *Una Fábrica enfocada al producto: Safety Products Corporation, Richmond, Virginia*
- *Una Fábrica enfocada a los procesos: R. R. Donnelley & Sons, Willard, Ohio*
- *Una Operación de servicio: Centro regional de distribución de Wal-Mart, New Braunfels, Texas*

Recopilación: Lo que hacen los productores de clase mundial

Preguntas de repaso y análisis

Tareas en Internet

Problemas

Casos
- *Computer Products Corporation (CPC)*
- *Infinity Printing Company*
- *Airsoft Athletic Shoes Company*

Notas finales

Bibliografía seleccionada

Estrategias de las operaciones que serán ganadoras en el siglo XXI

Para tener éxito más allá del año 2000, las empresas deben construir una infraestructura que les permita realizar lo siguiente:

1. Desarrollar y diseñar rápidamente productos innovadores de calidad superior y comprometerse a una política de mejora continua de los diseños existentes
2. Instaurar sistemas flexibles de producción capaces de producir con rapidez productos de calidad casi perfecta y bajo costo que se puedan modificar con prontitud para satisfacer las necesidades de los clientes.

El logro de estas metas requiere cambios fundamentales en la manera en que las empresas diseñan y desarrollan productos y procesos de producción. Aunque son costosas y muy tardadas, estas acciones prometen cambiar dramáticamente no sólo la apariencia de las organizaciones industriales, sino la manera en que actúan y se comportan.

De manera creciente, las empresas estadounidenses y otras extranjeras han reorganizado sus esfuerzos de diseño del producto y de desarrollo. Se ha dado más libertad y responsabilidad para ocuparse de la totalidad del esfuerzo de diseño y desarrollo a equipos de trabajo autónomos, formados por ingenieros de investigaciones y desarrollo y por personal de comercialización, producción y finanzas. Utilizando la tecnología de diseño más moderna, estos equipos ahorran grandes cantidades de tiempo y dinero al llevar los productos al mercado.

Muchas empresas están a la cabeza en la instalación de sistemas de procesos de producción conocidos como sistemas de producción esbelta, que son más pequeños y compactos. Los trabajadores están organizados en equipos de trabajo y los componentes y herramientas se colocan cerca de donde se necesitan; las líneas de ensamble utilizan robots y otras máquinas automatizadas, dirigidas por computadoras; la producción y los pedidos de materiales se coordinan con la demanda de los clientes de una manera tan estricta que se requiere muy poco inventario. Los resultados pueden ser increíbles. Los pedidos de los clientes se embarcan con rapidez utilizando productos de calidad superior con muchos menos empleados y a costos muy inferiores.

Como el informe anterior indica, el diseño y desarrollo de productos y de procesos de producción son los elementos clave en las estrategias de éxito de la actual economía global. Empecemos nuestro estudio de estos importantes asuntos:

Diseño y desarrollo de productos y servicios

En el capítulo 2 analizamos la importancia del diseño de los productos en la estrategia de las operaciones. Se hizo hincapié que cuando los productos se diseñan:

1. Se establecen las características detalladas de cada producto.
2. Las características del producto afectan directamente la manera en que se pueda producir el producto.
3. La manera en que se produce el producto determina el diseño del sistema de producción.

Además, *el diseño del producto afecta directamente su calidad, los costos de producción y la satisfacción del cliente. El diseño de productos y servicios es, por lo tanto, vital para el éxito en la actual competencia global.*

En este análisis de diseño del producto consideraremos sus fuentes de innovación, el desarrollo de nuevos productos y cómo introducirlos más rápidamente en el mercado, cómo mejorar el diseño de los productos existentes, el diseño de productos para su facilidad de producción, el diseño de productos para la calidad y el diseño y desarrollo de nuevos servicios.

INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 4.1

APPLIED RESEARCH OBTIENE RESULTADOS CON BUEN SONIDO

Los compresores son las antiestéticas entrañas de los sistemas de aire acondicionado, de los refrigeradores y de los sistemas de enfriamiento industrial. Dado que son esenciales pistones, cigüeñales y otras partes en movimiento, consumen electricidad al mismo tiempo que bombean el refrigerante a través de los tubos de refrigeración. Pero no será durante mucho tiempo, si Macro-Sonix Corp. de Richmond se sale con la suya. El presidente, Tim S. Lucas, ha inventado un compresor ahorrador de energía que no requiere de ninguna parte móvil. Recientemente demostró un prototipo en una reunión de ingenieros acústicos en San Diego.

El secreto del compresor: ondas sonoras superpoderosas. La energía transmitida por medio del sonido se emplea en la soldadura ultrasónica para la fusión de plásticos. Más allá de cierta amplitud, sin embargo, la energía sonora se disipa en forma de ondas de choque. Lucas descubrió que podría impedir esta disipación al conformar con precisión las ondas sonoras dentro de recipientes especiales, llamados resonadores. Estos pueden generar ondas sonoras que almacenan 1,600 veces más energía que antes y crean presiones que llegan a 500 libras por pulgada cuadrada. "Es uno de los adelantos más emocionantes que nos hemos encontrado en acústica en los últimos años", asegura Gregory W. Swift, experto en acústica de Los Alamos National Laboratory.

Fuente: Gross, Neil. "Cool Air. A Sound Approach". *Business Week*, 15 de diciembre, 1997, 108. Reimpreso de la edición del 15 de diciembre de 1997, de *Business Week* con permiso especial, derechos registrados © 1997 por The McGraw-Hill Companies, Inc.

FUENTES DE INNOVACIÓN DE PRODUCTOS

Las ideas para nuevos productos y servicios pueden provenir de muchas fuentes: clientes, gerentes, comercialización, producción e ingeniería. Las grandes corporaciones tienen departamentos formales de investigación y desarrollo, aquí:

1. Toman lo que se puede aprender de la **investigación básica** (conocimientos científicos generales sin uso comercial).
2. Se ocupan de la **investigación aplicada** (conocimientos científicos específicos que pudieran tener utilización comercial).
3. Trabajan para el diseño y desarrollo de nuevos productos y servicios, así como de procesos de producción.

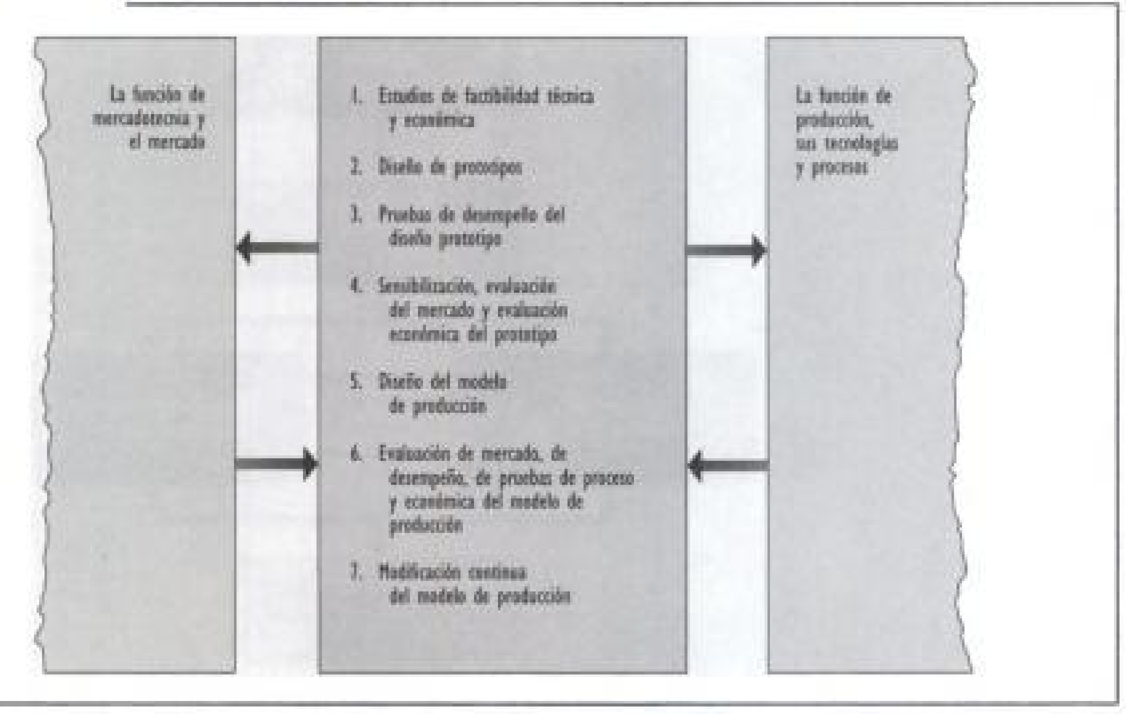
La Instantánea Industrial 4.1 ilustra los resultados de la investigación aplicada. La idea de producto resultante parece tener muchas aplicaciones comerciales potenciales. Ahora veamos más de cerca las actividades relacionadas con el desarrollo de nuevos productos.

DESARROLLO DE NUEVOS PRODUCTOS

La figura 4.1 muestra algunos de los pasos importantes en el diseño y desarrollo de nuevos productos. Una vez reconocida una oportunidad de nuevo producto, el **estudio de factibilidad técnica y económica** determina la conveniencia de establecer un proyecto para su desarrollo. Si el estudio de factibilidad inicial es favorable, los ingenieros preparan un **diseño de prototipo** inicial, que deberá exhibir la forma, ajuste y función básica del producto final, aunque no necesariamente sea idéntico al modelo de producción. Las pruebas de desempeño y el rediseño del prototipo continuarán hasta que el proceso de diseño-prueba-rediseño produzca un prototipo con un desempeño satisfactorio. A continuación, se hará la **detección y evaluación del mercado** mediante demostraciones a clientes potenciales, pruebas de mercado o encuestas de mercado. Si la respuesta al prototipo es favorable, se realiza una **evaluación económica del diseño del prototipo** para estimar el volumen de producción, los costos y las utilidades para el producto. De ser satisfactorio, el proyecto entrará en la fase de diseño de producción.



FIGURA 4.1 DESARROLLO DE NUEVOS PRODUCTOS



El **diseño de producción** evolucionará a través de las pruebas de desempeño, de los ensayos y pruebas de producción, de las pruebas de mercado y los estudios económicos. Tendrá que desplegar un bajo costo, una calidad confiable, un desempeño superior y la posibilidad de ser producido en las cantidades deseadas en el equipo de producción pretendido. Los diseños de producción se modifican continuamente para adaptarlo a las condiciones cambiantes del mercado y a los cambios en las tecnologías de producción y para permitir las mejoras en la manufactura.

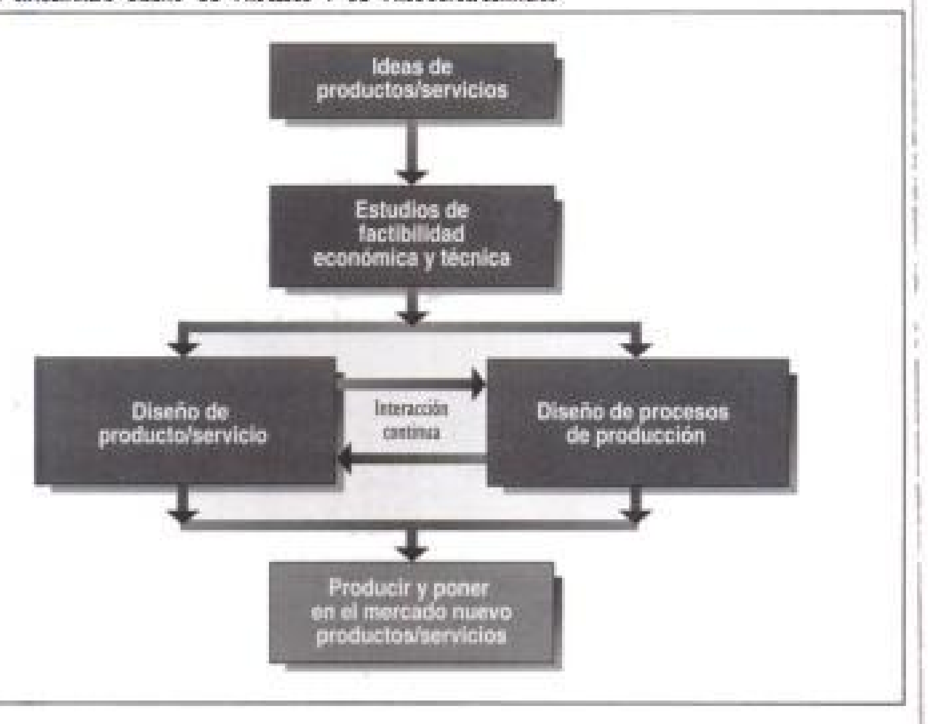
Aproximadamente, 5% de todas las nuevas ideas de productos sobreviven a la producción y aproximadamente 1 de cada 10 productos tiene éxito. Lo mejor es cancelar pronto los proyectos de desarrollo de nuevos productos y servicios que no prometan, de tal forma que se pueda dirigir el esfuerzo humano y el dinero de desarrollo a proyectos más prometedores. Esto es más fácil de decir que de hacer, ya que los gerentes, ingenieros y comercializadores se involucran emocionalmente en sus proyectos y se resisten a eliminarlos. Este hecho justifica la necesidad de consejos gerenciales de revisión administrativos imparciales para las revisiones periódicas del avance o progreso de los proyectos de nuevos productos y servicios.

CÓMO INTRODUCIR MÁS RÁPIDAMENTE NUEVOS PRODUCTOS EN EL MERCADO

Para tener éxito en la competencia global, las empresas deben diseñar, desarrollar e introducir productos con mayor rapidez. Un procedimiento para acelerar el diseño e introducción de nuevos productos es utilizando los equipos autónomos de diseño y desarrollo. En empresas como General Motors, IBM, Xerox, Motorola, Chrysler, General Electric, Toyota, Nissan, Honda y AT&T, se ha dado a los equipos de diseño la responsabilidad de toma de decisiones y mayor libertad para diseñar e introducir productos nuevos. Los resultados han sido dramáticos. El tiempo requerido para tener los productos nuevos diseñados, desarrollados e introducidos en el mercado se ha recortado y se han ahorrado enormes sumas de dinero. La fuente de estos ahorros es que estos equipos no tienen que enfrentarse a los procedimientos burocráticos que normalmente se requieren para obtener las aprobaciones necesarias para todo, desde los detalles de diseño hasta políticas de precios y desembolsos de publicidad.[1]

Otra herramienta para conseguir la meta de una más rápida introducción de nuevos productos es el uso de diseño y de manufactura asistidos por computadora (CAD/CAM). Los ingenieros pueden

FIGURA 4.2 INGENIERÍA SIMULTÁNEA: DISEÑO DE PROCESOS Y DE PRODUCTOS/SERVICIOS



sentarse en sus estaciones de trabajo, generar muchas vistas de componentes y ensambles, girar las imágenes, amplificar las vistas y verificar la interferencia entre componentes. Los diseños se pueden almacenar en una base de datos, compararse con otros diseños y almacenarse para su uso en otros productos. Cuando llega el tiempo de la manufactura, la información de diseño de producto incluida en la base de datos se traduce a un lenguaje que comprende la maquinaria de producción. El sistema de producción entonces se puede ajustar automáticamente para operar sobre los nuevos productos.



Los diseños de producción, como los esquemas de diseño automotriz que se están analizando aquí, se modifican continuamente para incorporar avances tecnológicos de producción y para permitir las mejoras en la manufactura.

INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 4.2

LO QUE ESTÁN HACIENDO ALGUNAS EMPRESAS ESTADOUNIDENSES PARA INTRODUCIR PRODUCTOS NUEVOS MÁS RÁPIDAMENTE EN EL MERCADO

Los productos no parecen tener nada en común: una impresora láser de IBM, la película Ektar de Kodak, un barco Brunswick, y el teléfono tipo Dick Tracy de Motorola, pero todos comparten un nuevo rasgo: Los cuatro fueron puestos en el mercado en un tiempo récord. La impresora láser de IBM tomó dos años en comparación con tres y medio años de lás impresoras IBM anteriores. Kodak utilizó 4 años para desarrollar Ektar, 14 menos que los que empleó para desarrollar Kodachrome en los años 70.

Compaq ha tomado la delantera en las computadoras personales al desarrollar sus máquinas en un periodo de seis a nueve meses, la mitad del tiempo que necesitan sus competidores. En las estaciones de trabajo, Sun Microsystems sacó del negocio a su competidor principal al llevar productos al mercado con mayor rapidez.

¿Cómo lo hacen estas empresas?

1. Forman equipos autónomos de desarrollo de nuevos productos.
2. Diseñan los nuevos productos utilizando software CAD/CAM. Los diseñadores de Chrysler crean un modelo de computadora en tres dimensiones en aproximadamente 10 segundos en comparación con las horas de bocetaje para la carrocería de un automóvil. Brunswick utiliza modelos de computadora para determinar la manera en que un barco hará frente al viento y a las olas, en lugar de utilizar modelos de madera en depósitos de agua. Motorola empleó el software para diseñar e introducir su teléfono celular de bolsillo MicroTac y ha vendido más de mil millones de dólares en estos diminutos aparatos, y ha ganado los más importantes premios de calidad en Japón. El software permitió a Motorola poner a MicroTac en el mercado con dos años de anticipación en comparación con la competencia. El software está en uso en Estados Unidos, Japón y Europa en empresas grandes como General Motors, Sony, BMW y Goodyear. En Timex, el software no sólo acelera el diseño, sino que produce diseños más precisos. El uso de software en Feature Enterprises, el fabricante de joyería para bodas más importante en Estados Unidos, permitió la reducción del desarrollo, diseño e introducción de nuevos anillos de tres a cinco meses a tan sólo una semana.
3. Facilitan la ingeniería simultánea al combinar los centros de diseño con las plantas de manufactura, de tal forma que se puedan diseñar e incorporar los procesos de producción al mismo tiempo que se están diseñando los productos. Brunswick está combinando su fábrica de motores fuera de borda y su centro de diseño de producto.
4. No se vuelve a inventar la rueda. Compaq utiliza componentes disponibles siempre que es posible; se utilizan los mismos microcircuitos de computadora y unidades de disco en muchos modelos nuevos.

Fuente: "Firms Learn That Quick Development Means Big Profits." *USA Today*, 22 de noviembre, 1989, 10B; "Pushing Design to Dizzying Speed." *Business Week*, 21 de octubre, 1991, 64.

Tradicionalmente, el diseño de productos y de procesos de producción para fabricar dichos bienes habían sido dos actividades separadas. Las empresas recorrían todos los pasos del diseño de los productos y entonces estos diseños se *pasaban por encima de la barda* a las personas de producción para que ellos diseñaran sus procesos. Pero con este procedimiento tomaba demasiado tiempo introducir nuevos productos en el mercado. La figura 4.2 ilustra la idea de la **ingeniería simultánea** o **ingeniería concurrente**, lo que quiere decir que el diseño de los productos y servicios avanza de manera simultánea con el diseño de los procesos con una interacción continua. *El concepto de la ingeniería simultánea ha comprimido significativamente el ciclo de diseño, producción e introducción de nuevos productos.*

La Instantánea Industrial 4.2 ilustra la manera en que las empresas utilizan los equipos de nuevos productos, el CAD/CAM y la ingeniería simultánea para introducir productos más rápidamente en el mercado. La Instantánea Industrial 4.3 ilustra la forma en que Boeing utiliza la simulación por computadora para acelerar el proceso de desarrollo de producto.

Las actividades de producción, mercadotecnia, finanzas e ingeniería relacionadas con el diseño de productos y servicios son intensas cuando se desarrollan los nuevos productos/servicios. Con-

INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 4.3

SIMULACIONES DE REALIDAD VIRTUAL EN EL PROCESO DE DISEÑO DE PRODUCTOS EN BOEING

Conforme el software sigue progresando, se están desarrollando simulaciones por computadora que pueden acelerar el proceso de diseño al asegurarse que muchos componentes y sistemas ajustarán bien entre sí dentro de un producto. Boeing utiliza una simulación por computadora que se puede considerar como una forma de realidad virtual para ayudar a los ingenieros de diseño a integrar muchos de los sistemas de componentes dentro de sus aeronaves. Por ejemplo, diferentes grupos de ingenieros diseñan el sistema de tuberías de agua potable, los sistemas eléctricos y de circulación de aire de manera independiente, utilizando software CAD. El software de simulación lee todos los archivos CAD de los distintos sistemas y los integra o combina en tres dimensiones. Los ingenieros de Boeing pueden utilizar la simulación por computadora para realizar un paseo virtual con animación para ver el sistema de tuberías eléctrico y de circulación de aire del avión. La computadora simula una cámara de video que recorre las tuberías y los cables dentro del aeroplano. El usuario controla la velocidad y la dirección de esa cámara virtual conforme avanza.

La simulación permite a los diseñadores de un sistema verificar las interferencias del diseño entre la estructura del avión y con otros sistemas. El uso de los recorridos virtuales para verificar los problemas de diseño ha resultado en menos cambios de ingeniería, lo que a su vez acelera el proceso de desarrollo de producto y reduce los costos de diseño y de desarrollo.

forme los productos y servicios pasan a través de las últimas etapas de su ciclo de vida, estos esfuerzos se enfocan a la preocupación por mejorar los diseños de los productos existentes.

CÓMO MEJORAR LOS DISEÑOS DE PRODUCTOS EXISTENTES

Las empresas están asignando más y más esfuerzos a la modificación y mejora de los productos existentes. El propósito de este esfuerzo es mejorar el desempeño, la calidad y el costo con el objetivo de mantener o de mejorar la participación en el mercado de productos maduros. Pequeñas modificaciones pueden resultar de importancia; por ejemplo, en Toyota está en marcha un programa continuo para afinar los diseños de los productos para disminuir los costos de producción. Las piezas se diseñaron de tal forma que las calaveras traseras se pudieran conectar con un solo conector en vez de dos, con un ahorro de 42 centavos de dólar; el sujetador de plástico que ancla la tira intemperie de la carrocería se hizo más pequeña, para ahorrar un dólar cinco centavos; y se recubrió la parte inferior del automóvil sólo donde se requería con un ahorro de dos dólares. Este tipo de mejoras a menudo se conocen como **análisis de valor**. Al hacer énfasis en mejoras continuas en el diseño del producto, estos cambios continuos y pequeños, se acumulan en enormes mejoras a largo plazo en la calidad del producto y en costos de producción.

DISEÑO PARA FACILIDAD DE LA PRODUCCIÓN

La calidad del producto, el costo de producción, la cantidad de proveedores y los niveles de inventario pueden resultar afectados por el diseño del producto. *El diseño de los productos para la facilidad de la producción es una pieza clave para que los fabricantes estadounidenses sean competitivos ante los extranjeros.*

Tres principios íntimamente relacionados con el diseño para la facilidad de la producción son: las especificaciones, la estandarización y la simplificación.

Una **especificación** es la descripción detallada de un material, componente o producto, incluyendo medidas tales como viscosidad, acabado superficial, pH y dimensiones físicas; estas especificaciones dan a los departamentos de producción información precisa sobre las características del producto a fabricar. El **sistema de partes intercambiables** de Eli Whitney requería que cada pieza de un rifle se manufacturara bajo **tolerancias** específicas. Las tolerancias se determinan como un máximo y un mínimo para la dimensión de un producto. Por ejemplo, un mínimo de 3.999 pulgadas y un máximo de 4.001 se podrían especificar como 4.000 ± 0.001 pulgadas. Las especificaciones, incluyendo las tolerancias, se requieren para permitir tanto la facilidad del ensamble como el

funcionamiento eficaz de los productos terminados. En términos generales, los componentes producidos con tolerancias más estrictas (desviaciones más pequeñas de la dimensión objetivo) se ajustarán mejor entre sí, pero su producción puede ser más cara si son más precisas y se requiere de un equipo más costoso o si se necesita de más tiempo de proceso para lograr la precisión deseada.

La **estandarización** se refiere a la actividad de diseño que reduce la diversidad en un grupo de productos o componentes. Por ejemplo, si un grupo de productos que tiene 20 modelos se rediseñara para que sólo tuviera 10, diríamos que el nuevo grupo es más estandarizado. La estandarización de los grupos de productos o componentes da por lo general un volumen más elevado de cada uno de los productos o modelo de componente, lo que puede resultar en costos menores de producción, mejor calidad del producto, mayor facilidad en la automatización y menor inversión en inventarios.

La **simplificación** del modelo de producto es la eliminación de características complejas de tal forma que se consigue la función pretendida pero con costos reducidos, mejor calidad o mayor satisfacción del cliente. Se puede incrementar la satisfacción del cliente haciendo más fácil de reconocer, comprar, instalar, mantener o utilizar el producto. Los costos se pueden reducir mediante un ensamble más sencillo, con operaciones eliminadas, materiales de reemplazo menos costosos y menos material desperdiciado como merma.

Los conceptos de especificaciones, tolerancias, estandarización y simplificación son importantes en el diseño de productos para la facilidad de la producción. De importancia particular es que los productos deben diseñarse para que puedan ser elaborados con maquinaria automatizada. Este tema se analizará con mayor profundidad en el capítulo 5, Tecnología de Producción.

DISEÑO PARA LA CALIDAD

Un elemento vital del diseño del producto es su impacto en la calidad. La manera en la que los clientes reciben los productos está determinada en gran parte por la forma en la que éstos incorporan la calidad en su diseño. *La incorporación de la calidad de los productos en sus diseños es el primer paso en la producción de productos de calidad superior*. La calidad está determinada por la percepción del cliente del grado de excelencia de las características de los productos o servicios.

Analizaremos los principios del diseño de producto para la calidad en el capítulo 17, Administración de la calidad.

DISEÑO Y DESARROLLO DE NUEVOS SERVICIOS

En el capítulo 2, analizamos las estrategias de posicionamiento para los servicios; el tipo de diseño del producto, según pedido o estándar; la clase de diseño del proceso, enfocado al producto o al proceso y la cantidad de contacto con el cliente, elevada o baja. Para este momento ya debe ser evidente que clasificar los diseños de servicio en clases simples y claras no es fácil. Quizás lo más obvio sobre el diseño de los servicios es su diversidad, pero hay tres dimensiones generales en el diseño de los servicios:

1. **El grado de estandarización de un servicio**. ¿La naturaleza del servicio está delineada según el cliente o la clase de clientes, o la naturaleza del servicio es la misma para todos?
2. **El grado de contacto con el cliente al entregar el servicio**. ¿Existe un elevado nivel de contacto con el cliente, como en una boutique de ropa, o un bajo nivel de contacto de cliente, como en un restaurante de comida rápida?
3. **La mezcla de bienes físicos y servicios intangibles**. ¿Está la mezcla dominada por servicios intangibles, como en una universidad, o por bienes físicos, como en un traje a la medida?

La cantidad a incluir en un diseño de servicio de cada una de estas dimensiones proporciona ventajas y desventajas. Por ejemplo, servicios que pueden estandarizarse con un bajo grado de contacto con el cliente, por lo general resultan menos costosos y más rápidos de entregar, y pudieran ser más apropiados para las estrategias de algunos servicios. Por otra parte, los servicios a la medida con un alto grado de contacto con el cliente pudieran ser apropiados para las estrategias de otros servicios. Todas estas dimensiones se conjuntan como diseños de servicio al establecerse y la elec-

La planeación de los procesos a menudo involucra a ingenieros, como el que se muestra aquí diseñando en computadora el motor de un avión.



ción final de los diseños debe basarse en las deseadas prioridades competitivas de las estrategias empresariales empleadas como se ilustró en la figura 2.1 del capítulo 2.

Considere las dimensiones analizadas arriba en relación con los diseños de servicio: grado de estandarización, grado de contacto con el cliente y mezcla de bienes físicos con servicios intangibles. Dada la naturaleza intangible de algunos servicios, es prácticamente imposible separar la consideración de la naturaleza del servicio y el proceso de producción para generar y entregar dicho servicio. Por ejemplo, el grado de contacto con el cliente dice tanto acerca del proceso de producción del servicio como sobre su naturaleza, algo claramente diferente entre el diseño de los servicios y de los productos. Analizaremos más sobre el diseño de los procesos de producción para los servicios posteriormente en este capítulo.

La forma en que se procede para desarrollar nuevos servicios es similar al desarrollo de nuevos productos, según se ilustró en la figura 4.1, pero existen algunas diferencias importantes. A menos que los servicios estén dominados por los bienes físicos, su desarrollo por lo general no requiere de la ingeniería, las pruebas y la elaboración de prototipos que requiere el diseño de productos. Dado que muchos negocios de servicios involucran intangibles, la prueba o ensayo de mercado tiende a efectuarse más por encuestas que por pruebas y demostraciones de mercado.

A continuación estudiaremos cómo planear y diseñar los procesos que deberán producir los productos y los servicios de las operaciones.

PLANEACIÓN Y DISEÑO DE LOS PROCESOS

En el diseño de los procesos de producción, delineamos y describimos los procesos específicos que se utilizarán en la producción. La tabla 4.1 enlista algunos procesos comunes de producción. La planeación de los procesos es intensa para nuevos productos y servicios, pero también puede ocurrir una replaneación conforme cambian las necesidades de capacidad o se modifican las condiciones de la empresa o del mercado, o se encuentran disponibles máquinas técnicamente superiores. *El tipo de procesos de producción a seleccionar debe necesariamente seguir directamente de las estrategias de las operaciones* analizadas en el capítulo 2. El diseño de los productos y el diseño de los procesos de producción están interrelacionados. La figura 4.2 ilustra la idea de la **ingenie-**

TABLA 4.1 ALGUNOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN

Algunos procesos de maquinado de metales				
Ensamble	**Fundición y moldeo**	**Corte**	**Formado**	**Acabado**
Soldadura con aporte	Fundición: con	Brochado	Trefilado	Sopleteado
Cementación	molde, en arena,	Barrenado	Extruido	Pulido
Sujeción	a la cera perdida	Esmerilado	Punzonado	Limpiado
Sujeción a presión	Moldeo:	Pulido	Laminado	Desbarbado
Ajuste térmico	inyección,	Rectificado	Cortado	Tratamiento térmico
Soldadura	partículas de metal,	Conformado	Doblado	Pintura
Soldadura eléctrica	molde permanente	Torneado	Centrifugado	Pulido
Algunos procesos que no son de maquinado				
Productos químicos	**Alimentos**	**Minería**	**Textiles**	**Madera**
Fraccionar	Enlatado	Secado	Hilar	Descortezar
Cocinado	Cocinado	Triturar	Tejer	Curar
Curado	Triturado	Excavar	Pulir	Unir
Destilado	Congelado	Extraer	Encoger	Estufado
Evaporado	Pasteurizado	Cargar	Torcer	Cepillar
Molido	Prensado	Cernir	Lavar	Aserrar
Cernir	Esterilizado	Beneficiar	Entrelazar	Tornear

ría simultánea, que significa que el diseño de productos y servicios avanza al mismo tiempo que el diseño de los procesos con una interacción continua.

La figura 4.3 ilustra los elementos de la planeación y diseño de los procesos y sus insumos y resultados. Se utilizan conocimientos sobre las estrategias de las operaciones, diseños de productos y servicios, tecnologías del sistema de producción y los mercados para desarrollar un plan detallado para la producción de productos/servicios. Los resultados de estos estudios consisten en una determinación completa de los pasos de los procesos tecnológicos individuales que se utilizarán y las vinculaciones entre pasos; la selección del equipo, el diseño de los edificios y las instalaciones físicas; el personal requerido, sus niveles de habilidad y sus necesidades de supervisión.

Una vez completada la planeación del proceso, se ha fijado la estructura y carácter fundamental de la función de las operaciones. Esta importante actividad determina en gran medida los detalles en la manera como serán producidos los productos y servicios, y posiciona la producción para que pueda utilizarse por el negocio para capturar los mercados mundiales.

¿Quién efectúa la planeación de los procesos? Varios departamentos como ingeniería de manufactura, ingeniería de planta, ingeniería de herramientas, compras, ingeniería industrial, ingeniería de diseño y, naturalmente, producción, pudieran quedar involucrados. Los ingenieros quedan involucrados debido a la razón misma de la planeación de los procesos, que es inseparable de la tecnología de la producción. Por ejemplo, en la industria electrónica, términos como soldadura de flujo, autoinserción de componentes y baños ácidos para circuitos impresos forman parte del lenguaje cotidiano de la planeación de los procesos.

FACTORES PRINCIPALES QUE AFECTAN LAS DECISIONES DE DISEÑO DE LOS PROCESOS

La tabla 4.2 enlista los factores principales que afectan las decisiones de diseño de los procesos.

NATURALEZA DE LA DEMANDA DE PRODUCTOS/SERVICIOS

En primer término, los procesos de producción deben tener una capacidad adecuada para producir el volumen de los productos/servicios que desean los clientes deben tomarse las medidas necesarias para expandir o contraer la capacidad para hacer frente a las tendencias de ventas. Algunos ti-

FIGURA 4.3 **EL SISTEMA DE PLANEACIÓN Y DISEÑO DE LOS PROCESOS**

INSUMOS

1. **Información sobre productos/servicios**
   Demanda de productos/servicios
   Precios/Volúmenes
   Patrones
   Entorno de la competencia
   Deseos/Necesidades de los consumidores
   Características deseables del producto
2. **Información del sistema de producción**
   Disponibilidad de recursos
   Economía de la producción
   Tecnologías conocidas
   Tecnología que se puede adquirir
   Fuerzas predominantes
   Debilidades
3. **Estrategia de las operaciones**
   Estrategias de posicionamiento
   Armas competitivas necesarias
   Enfoque de las fábricas y de las instalaciones de servicio
   Asignación de recursos

PLANEACIÓN Y DISEÑO DE LOS PROCESOS

1. **Selección del tipo de proceso**
   Coordinado con las estrategias
2. **Estudios de integración vertical**
   Capacidad de los proveedores
   Decisiones de adquisición
   Decisiones de comprar o fabricar
3. **Estudios de procesos/productos**
   Pasos tecnológicos principales
   Pasos tecnológicos secundarios
   Simplificación del producto
   Estandarización del producto
   Diseño del producto para su facilidad de producción
4. **Estudios de equipo**
   Nivel de automatización
   Enlaces entre máquinas
   Selección de equipo
   Herramental
5. **Estudios de procedimientos de producción**
   Secuencia de la producción
   Especificación de materiales
   Necesidades del personal
6. **Estudios de instalaciones**
   Diseños de edificios
   Disposición física de las instalaciones

RESULTADOS

1. **Procesos tecnológicos**
   Diseño de procesos específicos
   Enlaces entre procesos
2. **Instalaciones**
   Diseños de edificios
   Disposición física de las instalaciones
   Selección de equipo
3. **Estimaciones de personal**
   Necesidades de niveles de habilidades
   Número de empleados
   Necesidades de capacitación o de recapacitación
   Necesidades de supervisión

TABLA 4.2 **FACTORES PRINCIPALES QUE AFECTAN LA ELECCIÓN DE LOS DISEÑOS DE LOS PROCESOS**

1. Naturaleza de la demanda de productos/servicios: patrones de la demanda y las relaciones precio-volumen
2. Grado de integración vertical: integración hacia adelante o hacia atrás
3. Flexibilidad de la producción: flexibilidad del producto y de los volúmenes
4. Grado de automatización
5. Calidad del producto

pos de procesos se pueden expandir o contraer con mayor facilidad que otros, y la elección del tipo de proceso de producción quedará afectado por la demanda pronosticada de productos/servicios.

Los planes de negocios establecen los precios de los productos y servicios. Los precios afectan el volumen de ventas, el diseño del producto y la capacidad requerida de producción, así como sus costos; por lo tanto, la elección del precio y la selección del diseño de los procesos de producción deberá sincronizarse.

GRADO DE INTEGRACIÓN VERTICAL

Uno de los primeros problemas a resolver al desarrollar diseños de procesos de producción es determinar qué parte de la producción de productos/servicios deberá tener una empresa bajo su propio techo. La **integración vertical** es la porción de la cadena de producción y distribución, desde los proveedores de los componentes hasta la entrega de los productos/servicios a los clientes, que se reúnen bajo la propiedad de una empresa. El grado en el que una empresa decide estar integrada verticalmente determina cuántos procesos de producción deben planearse y diseñarse.

INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 4.4

ABASTECIMIENTO ESTRATÉGICO DEL EXTERIOR (OUTSOURCING): DE LA INTEGRACIÓN VERTICAL A LA INTEGRACIÓN VIRTUAL

El abastecimiento estratégico del exterior (outsourcing) está emergiendo como una de las herramientas de administración de crecimiento más rápido de la década. Tradicionalmente, el abastecimiento del exterior ayudaba a las empresas a reducir los costos, mejorar el enfoque empresarial y liberar a la gerencia de algunas de sus operaciones cotidianas, aunque sigue siendo así, ahora las empresas están utilizando el suministro del exterior para obtener flexibilidad a largo plazo, mejores prácticas de manera consistente y nuevas habilidades.

El abastecimiento estratégico del exterior le ofrece a los negocios maneras innovadoras de entrar o de crear en nuevos mercados con rapidez sin una inversión significativa por adelantado de recursos. Proporciona un entorno modular en el que es posible aumentar o disminuir el tamaño, dependiendo de fuerzas estacionales y de necesidades de producción.

Conforme se acelera la velocidad de cambio, pocas empresas pueden dar resultados excelentes en todos los frentes; tampoco pueden tener los recursos para estar comprometidas con la responsabilidad de construir y mantener una infraestructura para las partes esenciales de su negocio: aunque no sean las importantes, como son teléfonos, correo, cobranzas de crédito, redes o servicios de ventanillas de ayuda. El abastecimiento de procesos no críticos permite a una empresa enfocarse mejor en lo que hace mejor, es decir, en sus procesos de negocios esenciales.

Enfrascados en este abastecimiento estratégico de suministros, las empresas líderes están navegando con éxito en los mares de la globalización, la llegada de tecnologías avanzadas de comunicaciones y de cómputo, y de una complejidad y de una hipercompetencia crecientes. También están utilizando tecnologías de comunicaciones y de redes para tener un enlace vital con sus proveedores y asociados, resultando en lo que pudiera llamarse una integración virtual.

Fuente: "Outsourcing: From Vertical to Virtual—The Race to Change." *Business Week*, 15 de diciembre, 1997, 72–76.

Debido a escasez tanto de capital como de capacidades de producción, las empresas pequeñas y los negocios que empiezan ordinariamente deciden tener un muy bajo grado de integración vertical. Al principio, y siempre que sea práctico y posible, la mayor parte de la producción deberá obtenerse de proveedores externos. De manera similar, la distribución de los productos se puede convenir con empresas de mensajería y de distribución. Conforme crecen los negocios y maduran los productos, sin embargo, más y más de la producción y distribución de los productos típicamente será devuelto a la empresa conforme ésta busca mejores formas de reducir los costos y de consolidar sus operaciones.

La decisión de si se deben fabricar los componentes (o dar los servicios) o comprarlos de los proveedores (productos proporcionados por el exterior) no es simple. Un problema es si el costo de la fabricación de los componentes es inferior a adquirirlos de los proveedores. Otros problemas también tienen importancia, como es la disponibilidad del capital de inversión para expandir la capacidad de producción, la capacidad tecnológica, y si es que los procesos de producción necesarios son de propiedad registrada.

Conforme finaliza el siglo XX, parecería existir una tendencia hacia el **abastecimiento estratégico del exterior** (outsourcing); que es la adquisición externa del proceso para el propósito primario de ser capaz de reaccionar con mayor rapidez a cambios en las demandas de los clientes, a las acciones de los competidores y a las nuevas tecnologías. La Instantánea Industrial 4.4 analiza el concepto del abastecimiento estratégico.

FLEXIBILIDAD DE LA PRODUCCIÓN

La flexibilidad de la producción significa poder ser capaz de responder con rapidez a las necesidades de los clientes y tiene dos vertientes: flexibilidad del producto y flexibilidad del volumen, ambas determinadas en gran parte al diseñar los procesos de producción. La **flexibilidad del producto** es la capacidad que tiene el sistema de producción para realizar con rapidez el cambio de producir un producto/servicio a producir otro. Se requiere la flexibilidad en el producto cuando las estrategias del negocio requieren muchos productos/servicios diseñados según pedido, con volúmenes relativamente pequeños o cuando nuevos productos deben introducirse con rapidez al mercado. En estos casos, los procesos de producción deben diseñarse para incluir equipo de uso general y empleados

con capacitación cruzada que puedan trasladarse con facilidad de un producto/servicio a otro. También, nuevas formas de automatización flexible permiten una gran flexibilidad en los productos.

Flexibilidad en los volúmenes es la capacidad de aumentar o reducir rápidamente los volúmenes de productos/servicios producidos. Se requiere flexibilidad en los volúmenes cuando la demanda está sujeta a picos y valles o cuando resulta poco práctico poner en inventario anticipándose a la demanda de los clientes. En estos casos, los procesos de producción deben diseñarse con capacidades de producción que se puedan expandir o contraer rápida y económicamente. Las operaciones de manufactura generalmente son **intensivas en el uso del capital**, lo que simplemente significa que el recurso predominante que se utiliza es el capital y no la mano de obra, por lo que, en la presencia de una demanda variable del producto, el equipo de bienes de capital en los procesos de producción deberá estar diseñado con capacidades de producción cercanas a los niveles pico de la demanda.

GRADO DE AUTOMATIZACIÓN

Un problema clave en el diseño de los procesos de producción es determinar cuánta automatización integrar en el sistema de producción. Dado que el equipo automatizado es muy costoso y resulta difícil administrar la integración de la automatización en operaciones existentes o en operaciones nuevas, no se deben tomar a la ligera los proyectos de automatización. La automatización puede reducir la mano de obra y los costos relacionados, pero en muchas aplicaciones, la enorme inversión requerida por los proyectos de automatización no se puede justificar sólo debido a ahorros en mano de obra. Cada vez más, son las metas de mejora de la calidad del producto y de la flexibilidad del producto lo que motiva a las empresas a efectuar enormes inversiones en proyectos de automatización. Igual que en los demás factores que afectan el diseño de los procesos de producción, el grado de automatización apropiada para la producción de un producto/servicio debe proceder de las estrategias de las operaciones de la empresa. Si estas estrategias requieren una elevada calidad del producto y una gran flexibilidad en el mismo, la automatización puede ser un elemento importante de la estrategia de las operaciones.

CALIDAD DEL PRODUCTO/SERVICIO

En el actual entorno competitivo, la calidad del producto se ha convertido en un arma importante en la batalla en busca de los mercados mundiales de productos producidos en masa. Antes, se creía que la única manera de producir productos de elevada calidad era elaborarlos en pequeñas cantidades por artesanos expertos que hacían trabajos manuales con mucho cuidado. Mercedes y Rolls Royce son ejemplos de automóviles que se produjeron utilizando este procedimiento. En tiempos recientes, muchos productos producidos en masa, como los automóviles Toyota de Japón, se consideran como de muy elevada calidad. La elección del diseño de los procesos de producción ciertamente queda afectado por la necesidad de una mayor calidad en el producto. En todos los pasos del diseño del proceso, la calidad del producto es un factor crucial en la mayoría de las decisiones de importancia. Para muchas empresas, el problema de cuánta calidad del producto se requiere está directamente relacionada con el grado de automatización integrado en los procesos de producción, dado que las máquinas automatizadas pueden producir productos de una uniformidad increíble.

Hemos analizado lo que es la planeación y el diseño de los procesos, cómo se logran y qué factores los afectan. Veamos ahora los tipos principales de diseños de proceso que encontraremos en la práctica.

TIPOS DE DISEÑOS DE PROCESOS

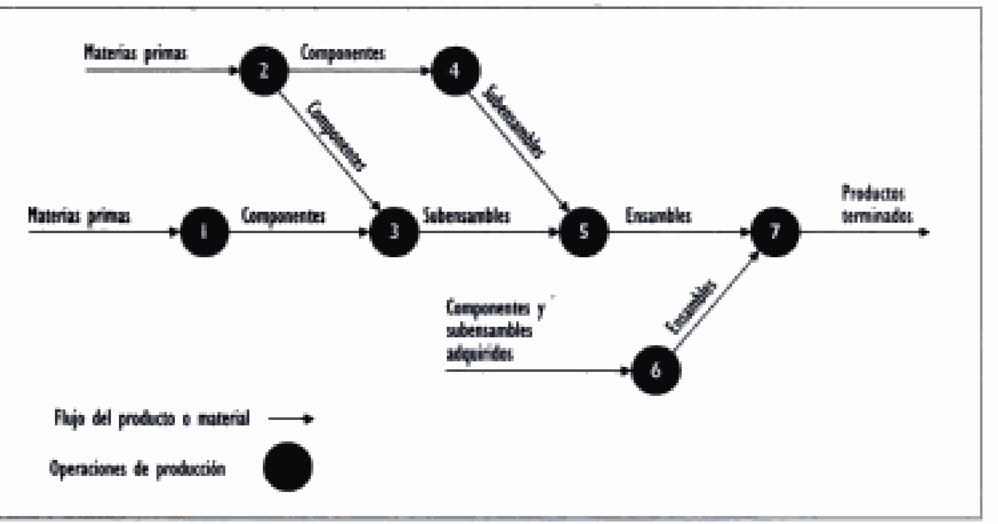
En las primeras etapas de la planeación de los procesos, debemos decidir el tipo básico de la organización de procesamiento de la producción que utilizaremos en la elaboración de cada producto principal. Lo tipos comunes de organizaciones de procesamiento de la producción son el enfocado al producto, el enfocado al proceso y la tecnología de grupo/manufactura celular.

ENFOCADO AL PRODUCTO

Se utiliza el término **enfocado al producto** *para describir una forma de organización de procesamiento de la producción en la cual los departamentos de producción están organizados de acuer-*



FIGURA 4.4 PRODUCCIÓN ENFOCADA AL PRODUCTO



do con el tipo de producto/servicio que se está elaborando. En otras palabras, todas las operaciones de producción requeridas para producir un producto o un servicio están por lo general agrupadas en un mismo departamento de producción.

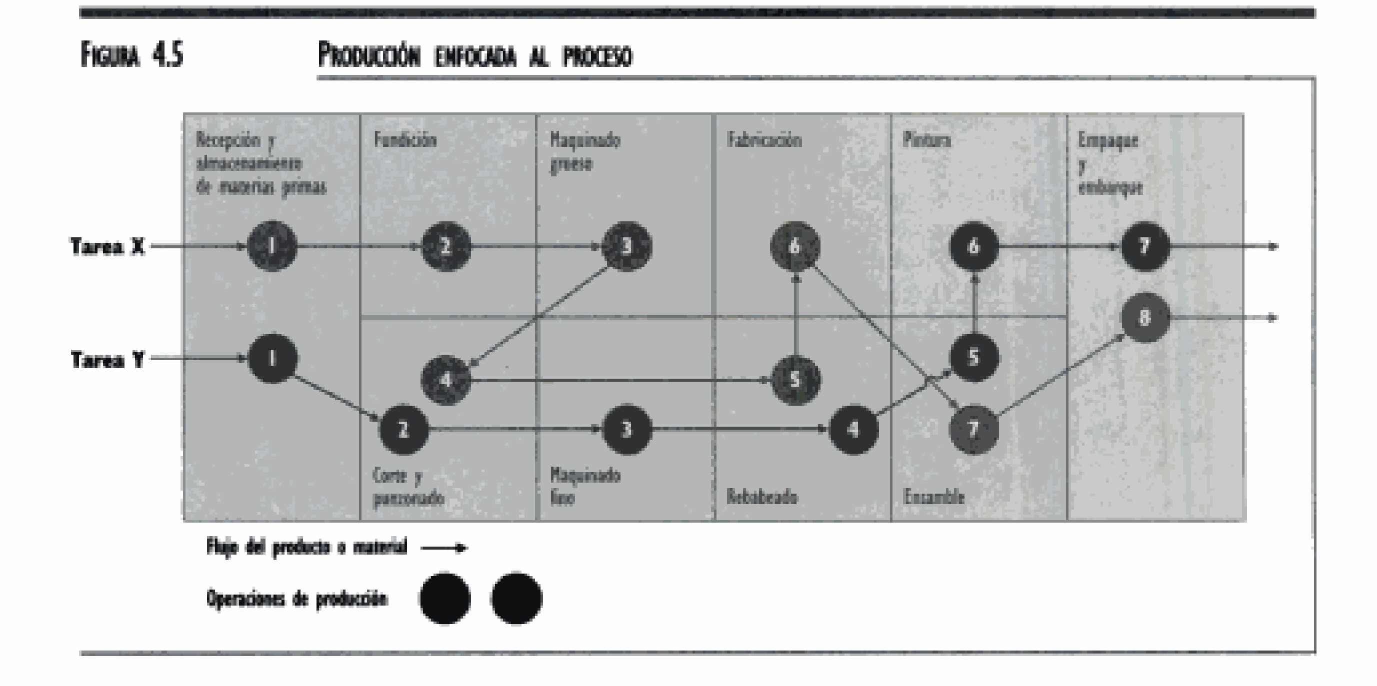
La producción enfocada al producto también se conoce en ocasiones como **línea de producción** o **producción continua**. Ambos términos describen la naturaleza de las trayectorias que siguen los productos a través de la producción. Los productos/servicios tienden a seguir trayectorias lineales directas sin regreso o sin movimientos laterales. En la producción continua, los productos/servicios tienden a avanzar a través de la producción sin detenerse. La figura 4.4 ilustra las trayectorias directas y continuas prácticamente lineales que siguen las materias primas, los componentes, los subensambles, los ensambles y los productos terminados en las producción enfocada al producto de un producto.

La organización enfocada al producto es aplicable a dos formas generales de producción: manufactura de unidades discretas y manufactura de proceso. **La manufactura de unidades discretas** quiere decir que se producen productos distintos o separados, como son automóviles o lavavajillas. Este tipo de productos se fabrican en lotes, requiriendo que el sistema se cambie entre lotes para la elaboración de otro producto. O el sistema puede estar dedicado solamente a un producto, con la cual el sistema prácticamente nunca se modifica para otros productos. En la manufactura de unidades discretas, el término **enfocado al producto** se utiliza también a veces como sinónimo del término **línea de producción** o **línea de ensamble**, como en el caso de las plantas de ensamble automotrices.

En la **manufactura de procesos**, los flujos de materiales se mueven entre las operaciones de producción, como filtrado o cernido, molido, cocido, mezclado, separado, batido, fraccionado, fermentado, evaporado, reducido o destilado. Esta forma de producción es común en industrias de los alimentos, cervecera, química, refinerías de petróleo, petroquímica, plásticos, papel y cemento. Igual que en la manufactura de unidades discretas, la producción enfocada al producto en la manufactura de procesos también se puede llamar una **producción continua**. Se le llama producción continua porque los materiales tienden a moverse a través de la producción en una manera lineal, sin muchas detenciones y debido a que el término describe la naturaleza de los materiales, que son de naturaleza no discreta, es decir no tienen forma, como por ejemplo los líquidos y los polvos.

En comparación con otros tipos de producción, los sistemas enfocados al producto requieren por lo general niveles iniciales de inversión más elevados. Esta mayor inversión proviene de 1) el uso de equipo más costoso, de manejo de materiales en posición fija, como por ejemplo bandas transportadoras elevadas; 2) el uso de equipo que es especial para un producto/servicio en particular, como las máquinas soldadoras automáticas diseñadas y herramentadas especialmente para un producto específico. Adicionalmente, la flexibilidad en el producción de estos sistemas tiende a ser bastante baja porque ordinariamente son difíciles de modificar para uso en otros productos/servicios. Como compensación de estos inconvenientes están las ventajas de menores necesidades de

FIGURA 4.5 **PRODUCCIÓN ENFOCADA AL PROCESO**



mano de obra especializada, una menor capacitación de los trabajadores, menos supervisión y facilidad para planear y controlar la producción.

Este arreglo de equipos y personal era, hasta después de la Primera Guerra Mundial, 100% estadounidense. A partir de la Segunda Guerra Mundial, los sistemas enfocados al producto se han empleado en todos los países industrializados del mundo, principalmente porque ofrecen lo que la mayoría de los gerentes de operaciones desean, es decir, un elevado volumen de producción, bajos costos unitarios y facilidad para planear y controlar la producción.

ENFOCADO AL PROCESO

Se utiliza el término ***enfocado al proceso*** *para describir una forma de producción en la cual las operaciones se agrupan según los tipos de procesos.* En otras palabras, todas las operaciones de la producción que tengan procesos tecnológicos similares se engloban formando un departamento de producción. Por ejemplo, todas las operaciones de producción en una fábrica que involucren pintura se agrupan en una sola ubicación formando un departamento de pintura.

Los sistemas enfocados a los procesos a menudo se conocen como de **producción intermitente**, ya que ésta se desarrolla intermitentemente sobre los productos, esto es, con base arrancar-parar. Los sistemas enfocados a los procesos también se conocen comúnmente como **talleres de tareas** ya que los productos pasan de un departamento al siguiente en lotes (tareas) que en lo general han quedado determinados por los pedidos de los clientes. La figura 4.5 ilustra las rutas de dos productos hipotéticos a través de un taller de tareas.

Como podemos observar en la figura 4.5, en los talleres de tareas, los productos siguen trayectorias irregulares en zigzag, con paradas y arranques, detenciones temporales fuera de línea y retornos. En esta figura, la tarea X y la tarea Y representan dos diseños de productos claramente distintos. Debido a sus diferentes diseños, necesitan someterse a diferentes operaciones de producción y deben pasar por diversos departamentos de producción y en secuencias diferentes. Observe en la figura 4.5 que en ciertos puntos tanto la tarea X como la Y deben procesarse en el mismo departamento, por ejemplo, en el de ensamble. Supongamos que este departamento no tiene suficiente capacidad para trabajar en las dos tareas de manera simultánea, esto significa que una de las tareas deberá esperar turno. Esta es la naturaleza fundamental de los talleres de tareas. Las tareas ocupan la mayoría del tiempo *esperando* a ser procesados en los departamentos de producción.

Los sistemas de producción enfocados a los procesos incluye hospitales, talleres de reparación de automóviles, talleres mecánicos y plantas de manufactura. La ventaja principal de estos sistemas es su flexibilidad respecto a productos, es decir, la capacidad que tienen de producir lotes pequeños de una amplia diversidad de productos diferentes. Adicionalmente, por lo general requieren de una inversión inicial más reducida ya que típicamente utilizan equipo para uso general y equipo móvil para el manejo de materiales, que suele ser menos costoso. Sin embargo, estos sistemas sí requieren de mayores habilidades de los empleados, más capacitación para ellos, más supervisión, supervisión técnicamente más capacitada, y una planeación y un control de la producción más complejos.

Los sistemas enfocados al producto y los enfocados al proceso representan dos procedimientos tradicionales para organizar la producción. En la práctica también se encuentran combinaciones e híbridos de estos dos métodos.

Tecnología de grupo/manufactura celular

La **tecnología de grupo/manufactura celular (GT/CM,** por sus siglas en inglés) es una forma de producción que sólo recientemente se ha adoptado en Estados Unidos. Se empleó por primera vez en la Unión Soviética a fines de los años 40 por Mitrofanov y Sokolovskii.[3] A partir del final de la Segunda Guerra Mundial, se ha estudiado y aplicado en la mayor parte de Europa oriental y occidental, así como en India, Hong Kong, Japón y Estados Unidos. La mayoría de las aplicaciones de esta forma de producción han ocurrido en la industria metalmecánica.

La manufactura celular es un subconjunto de un concepto más general de *tecnología de grupo*, en la que se desarrolla un sistema de codificación para los componentes que se fabrican en una planta. Cada componente recibe un código multidígito que describe sus características físicas. Por ejemplo, digamos que un componente es cilíndrico, de seis pulgadas de largo, una pulgada de diámetro, y está hecho de acero inoxidable. El código del componente incluiría estas características físicas. La figura 4.6 muestra un ejemplo de un código de tecnología de grupo para un componente de este tipo. Utilizando el sistema de codificación para componentes, las actividades de producción se simplifican de las formas siguientes:

1. Resulta más fácil determinar cómo rutear los componentes a través de la producción ya que los pasos de producción requeridos para fabricar un componente son obvios partiendo de su código.
2. Es posible reducir el número de diseños de componentes gracias a la estandarización de piezas. Cuando se diseñan componentes nuevos, se puede consultar los códigos de componentes existentes para identificar piezas similares en la base de datos. Los diseños nuevos se pueden hacer igual a los existentes.
3. Componentes con características similares se pueden agrupar en **familias.** Dado que piezas con características parecidas se fabrican de manera similar, las piezas en una familia de componentes típicamente se fabrican en las mismas máquinas utilizando herramental similar.
4. Algunas familias de componentes se pueden asignar a celdas de manufactura para su producción, por lo general una familia por celda. La organización del piso de la planta en celdas se conoce como **manufactura celular.**

En los talleres de tareas de maquinado metalmecánico, los componentes se fabrican en equipos como tornos, fresas, taladros y rectificadoras o esmeriles. Los talleres fabrican una amplia variedad de diseños de componentes producidos infrecuentemente y en lotes reducidos. Mediante la tecnología de grupos, algunos diseños de componentes se estandarizan cada vez más, lo que tiende a incrementar el tamaño de los lotes y obliga a que se fabriquen más a menudo. Las familias de componentes con piezas que necesitan fabricarse con mayor frecuencia en lotes de tamaño moderado se convierten en candidatos para la manufactura celular.

La figura 4.7 ilustra la manera en que pudiera crearse una celda de producción dentro de un taller de tareas. En este ejemplo, los componentes en una familia de componentes requieren los siguientes pasos de producción: corte en una sierra, torneado, esmerilado, taladrado, fresado y desbarbado. De cada departamento de proceso en el taller se toma una máquina de cada tipo y se traslada a un espacio en el taller para crear una celda. Las máquinas con las líneas punteadas en la figura 4.7 (Sierra 2, Torno 3, Esmeril 3, Taladro 1, Fresa 1, Rebabeadora 3) son las que se toman para crear la celda. Las máquinas en una celda a menudo se organizan en U como se muestra en la parte inferior de la figura, de manera que las piezas de la familia de componentes puedan fluir eficientemente a través de la cel-

FIGURA 4.6 **EJEMPLO DE CODIFICACIÓN DE TECNOLOGÍA DE GRUPO (GT)**

Vista lateral **Vista frontal**

Número de parte: R4851
Código GT: 341PS0117
Descripción: Flecha hueca con cuña exterior

Interpretación del código GT

Código GT:	3	4	1	P	S	0	1	1	7
Campo:	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Campo	Descripción	Campo	Descripción
1	1—lámina metálica 2—bloque metálico 3—metal en barra	6	1—características de superficie interna 0—sin características de superficie interna
2	1—acero al alto carbono 2—acero al bajo carbono 3—aleación de aluminio 4—acero inoxidable	7	1—características de superficie externa 0—sin características de superficie externa
3	1—cavidad interna 0—sin cavidad interna	8	tolerancias internas (pulgadas) 1—±.001 3—±.003 5—±.005 7—±.007 9—±.009
4	R—acabado interior grueso S—acabado interior liso P—acabado interior pulido	9	tolerancias externas (pulgadas) 1—±.001 3—±.003 5—±.005 7—±.007 9—±.009
5	R—acabado exterior grueso S—acabado exterior liso P—acabado exterior pulido		

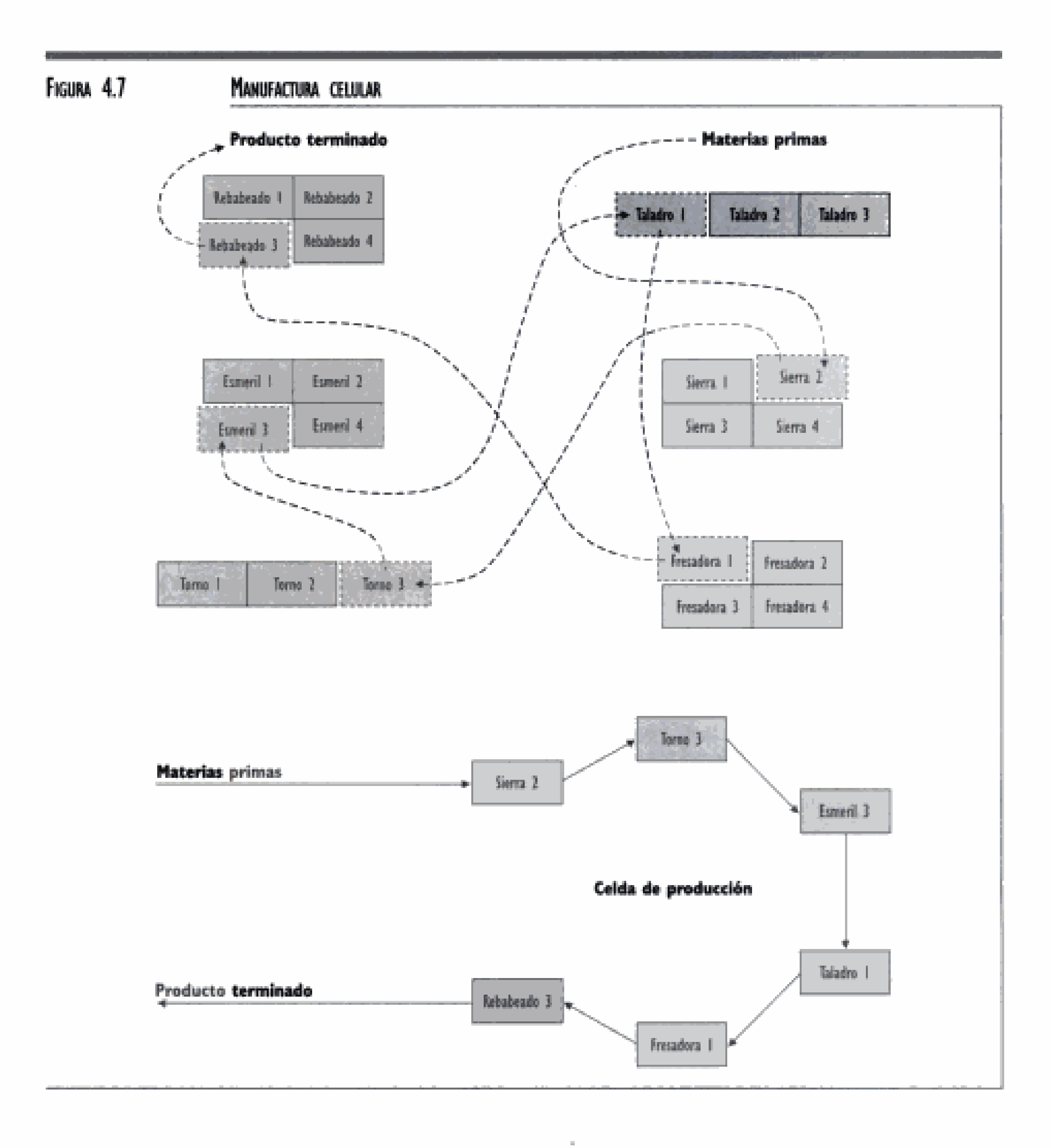
da. Se puede observar claramente la forma en que se ha simplificado el flujo de componentes. En la figura de arriba, la línea punteada muestra el flujo anterior de estas piezas a través del taller; en la figura de abajo, la línea sólida muestra el nuevo flujo a través de la celda. El resto del taller conserva la flexibilidad para seguir produciendo una amplia diversidad de diseños de componentes.

Las islas de manufactura celular se distinguen del taller de tareas que las circundan por dos características clave: En el interior de las celdas existe un grado más elevado de similitud entre componentes y su flujo tiende a parecerse más al flujo en sistemas enfocados al producto.

Las ventajas que la manufactura celular proclama tener en comparación con otros talleres artesanos son numerosas.[4] Dado que las piezas dentro de una familia de componentes en una celda usan la misma maquinaria con herramental similar y operaciones de producción similares:

1. Se simplifican los cambios de equipo entre lotes de componentes, reduciendo por lo tanto el costo de cambiar e incrementando la capacidad de producción.
2. Se reduce la variabilidad de tareas acortándose los periodos de capacitación de los trabajadores.
3. Hay más rutas directas a través de la producción, permitiendo una más rápida fabricación y embarque de los componentes.
4. Las piezas consumen menos tiempo en espera, reduciéndose los niveles de inventario en proceso.
5. Debido a que los componentes se fabrican en condiciones de una menor variabilidad de diseño por trabajadores más especialmente capacitados para su elaboración, se mejora el control de calidad.
6. Dado que las rutas a través de la producción son más cortas y directas, y debido a la consecuente reducción en los costos de manejo de materiales, se simplifican la planeación y el control de la producción.

FIGURA 4.7 MANUFACTURA CELULAR



7. Como resultado de una menor variedad en piezas y similitud del herramental y maquinaria en las celdas, resulta más simple la automatización de éstas. Por lo tanto, la formación de las celdas puede considerarse como un paso intermedio en la automatización de los sistemas tipo taller de tareas.

Como es de esperarse, GT/CM también tiene ciertas desventajas. Por ejemplo, pudiera resultar necesario conservar equipo duplicado para no tener la necesidad de transportar los componentes de una celda a otra. También, en vista de que no todas las piezas de un taller pueden fabricarse en celdas GT/CM, la producción de los componentes restantes pudiera no ser tan eficiente una vez instituidas las celdas GT/CM.

De acuerdo con lo que se dice de GT/CM, deberíamos estar viendo en el futuro más instancias de esta forma de producción, pero no todas los talleres de tareas se convertirán a GT/CM. Como analizaremos más adelante, sólo aquellos talleres que tengan un cierto grado de estandarización de componentes y tamaños de lotes moderados pueden ser candidatos para GT/CM.

INTERRELACIONES ENTRE DISEÑO DEL PRODUCTO, DISEÑO DEL PROCESO Y POLÍTICA DE INVENTARIOS

En el Capítulo 2 analizamos el concepto de la estrategia de posicionamiento para los fabricantes. El posicionamiento, como vimos anteriormente, exige que los gerentes seleccionen un tipo básico de diseño de producción, como por ejemplo enfocada al producto, enfocada al proceso o GT/CM. Sin embargo, para cada empresa también son importantes, entre las decisiones de posicionamiento, dos decisiones interrelacionadas:

1. Determinar el tipo de diseño del producto: a la medida o estándar.
2. Decidir la política de inventarios de productos terminados: producir para existencias o producir según pedido.

Claramente, ambas opciones están íntimamente relacionadas porque decidir entre diseños a la medida o estándar necesariamente afectará el tipo de política de inventarios de productos terminados que es práctica o posible.

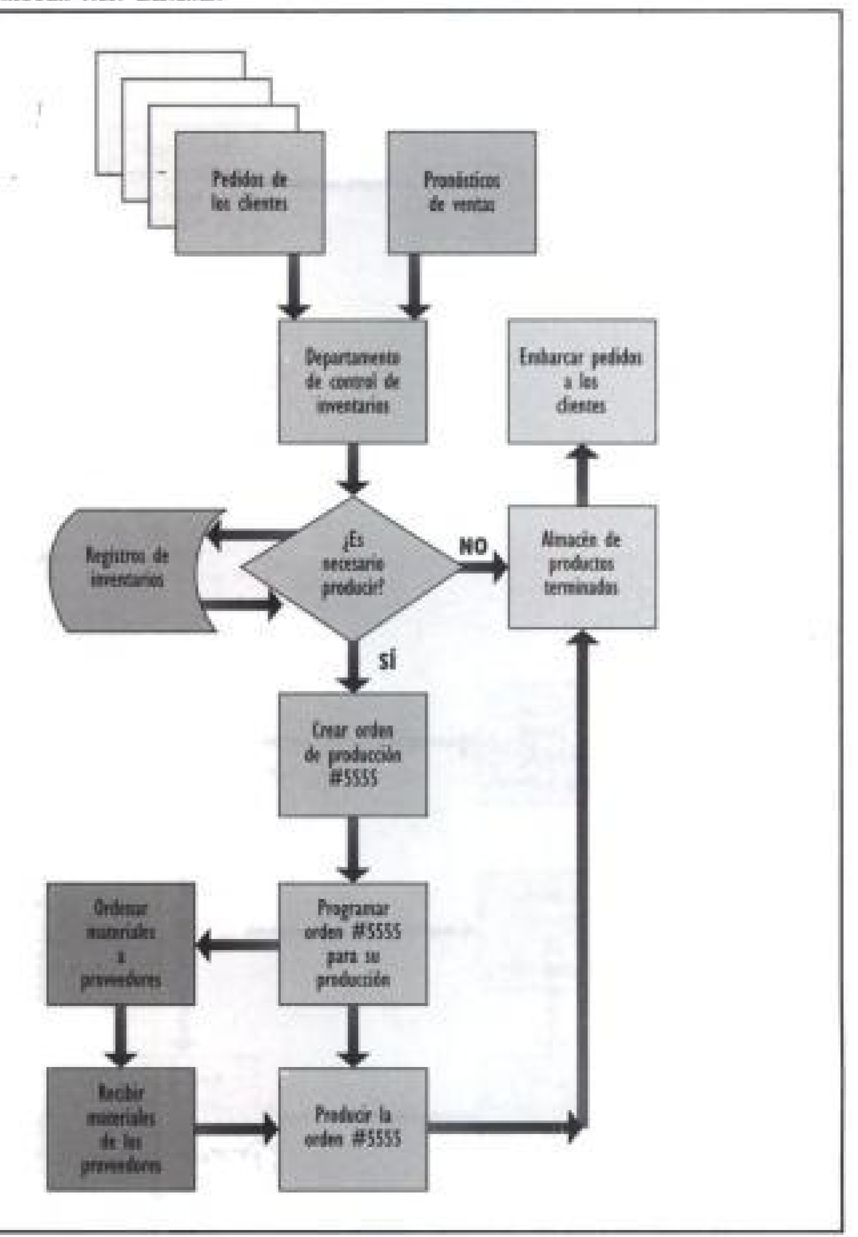
Por lo general, los diseños de productos estándar están relacionados con sistemas de inventarios de productos terminados de producción para existencias. Observe la figura 4.8 y vea si puede reconocer por qué. Esta figura ilustra los procedimientos que comúnmente se siguen en los sistemas de inventarios de productos terminados de producción para existencia. Los pedidos de los clientes y los pronósticos de ventas dan a los departamentos de control de inventarios estimaciones de la demanda de cada producto en particular para las semanas y los meses futuros. Después de consultar los registros de existencias para determinar los niveles de inventarios de productos terminados, se puede calcular si se requerirá producir algunos bienes. De lo contrario, los pedidos de los clientes pueden surtirse y embarcarse directamente de las existencias disponibles en el almacén de productos terminados. Si hay alguna posibilidad de que se presenten faltantes en el inventario, se crea una orden de producción. Las materias primas, componentes, subensambles y ensambles se piden a los proveedores y se programa la orden para su producción. Una vez recibidos los materiales de los proveedores y producida la orden, se envía al almacén de productos terminados. De este almacén se embarcan los pedidos a clientes.

Si se escogen diseños estándar, resulta a la vez posible y práctico embarcar los pedidos de los clientes desde el inventario de productos terminados. Dado que los pocos diseños de productos estándar son bien conocidos, es posible producirlos y colocarlos en el almacén de productos terminados antes de recibir los pedidos de los clientes. También, en vista de que sólo se manejan unos cuantos diseños estándar de productos, cada uno de ellos con un volumen relativamente alto, resulta práctico almacenarlos y embarcar los pedidos de los clientes directamente del inventario de productos terminados.

Por lo general, los diseños de productos a la medida, están relacionados con sistemas de inventarios de productos terminados de producción sobre pedido. Observe la figura 4.9 y vea si puede decir por qué. Esta figura ilustra los procedimientos que normalmente se siguen en sistemas de inventarios de productos terminados de producción hechos a la medida. Los pedidos de los clientes se reciben en los departamentos de planeación y control de la producción. Una vez elaborado el pedido del cliente debe investigarse si existe un diseño de producto para este pedido; si anteriormente se han fabricado productos que cumplen las especificaciones del cliente, no será necesario diseñarlos. Lo mismo ocurrirá con los planes de proceso, es decir, las rutas de los productos a través del taller. El diseño de productos y el desarrollo de planes de procesamiento se conocen en los talleres de tareas como **planeación de preproducción.** Después de programar el pedido del cliente para su producción, de notificarle una fecha de entrega y de ordenar los materiales a los proveedores, el pedido se queda en **pedidos pendientes** hasta que se produce y embarca al cliente.

Como puede observar en la figura 4.9, por lo general la producción de productos terminados no se inicia hasta después de haber recibido el pedido del cliente, ya que éste también pudiera requerir los detalles del diseño del producto. Tampoco es raro diseñar el producto en su totalidad para un cliente después de recibir el pedido, si éste ha dado especificaciones de desempeño (una des-

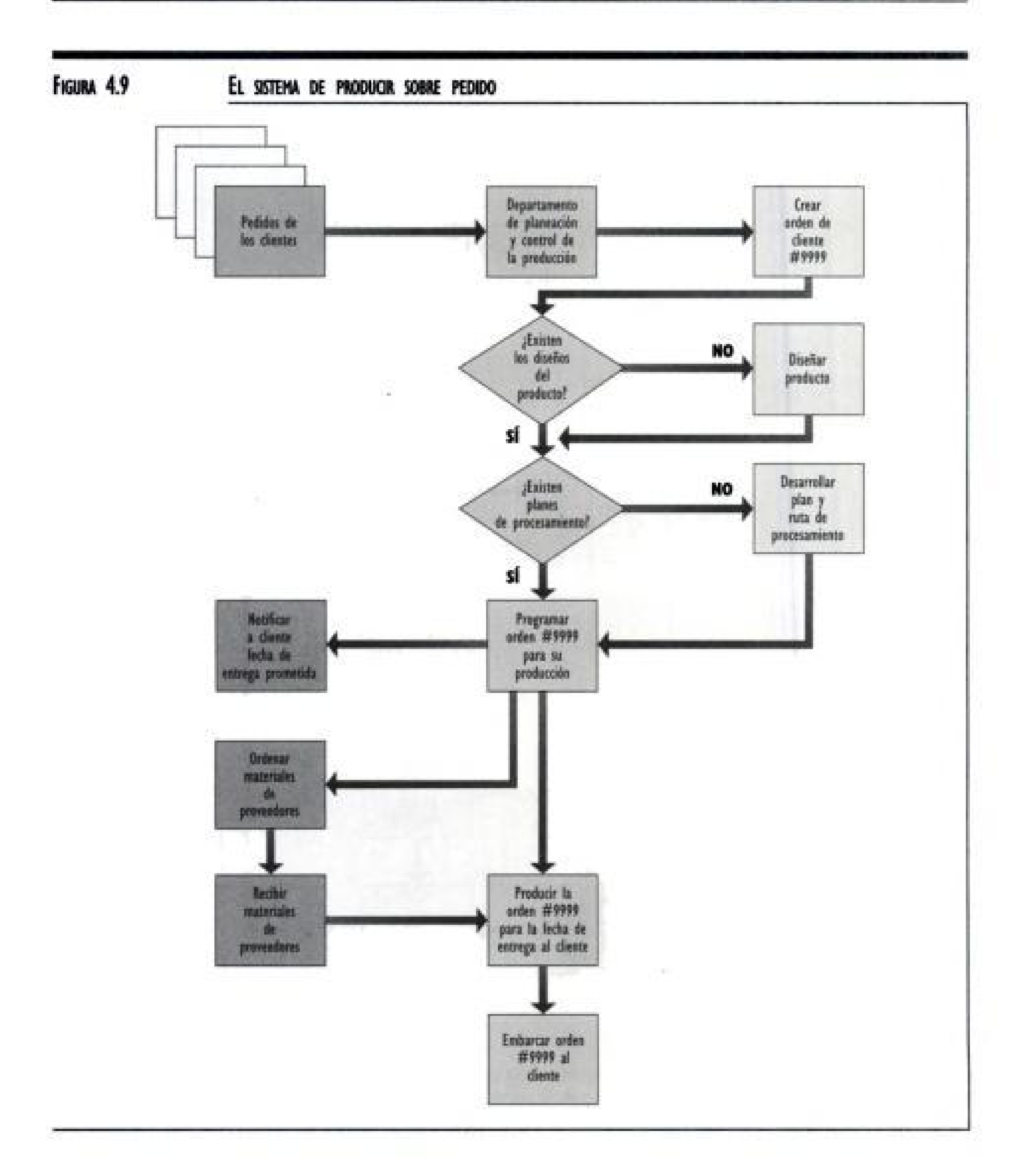
FIGURA 4.8 EL SISTEMA DE PRODUCIR PARA EXISTENCIA



cripción detallada de lo que debe hacer el producto). En estos casos, por lo tanto, no será posible producir los productos antes de la recepción del pedido del cliente. También, en razón al elevado número de diseños de productos, de la reducida demanda de cada uno de ellos y de lo infrecuente de la demanda de los mismos, pudiera ser impráctico almacenar productos en el inventario de productos terminados a la espera de los pedidos de los clientes.

No suponga que las empresas siguen únicamente una estrategia de posicionamiento pura. Consulte en la tabla 2.9 del Capítulo 2 la descripción de las estrategias de posicionamiento puras. En la práctica encontramos también estrategias de posicionamiento mixtas. Como un ejemplo de un sistema de producción sobre pedido enfocado a los productos, digamos que una empresa tiene unos cuantos diseños de producto básicos muy estandarizados, pero con opciones o accesorios que se pueden agregar para satisfacer a cada cliente en particular. Los componentes se pueden producir por anticipado y poner en el inventario antes de la recepción de los pedidos; entonces en el último

FIGURA 4.9 EL SISTEMA DE PRODUCIR SOBRE PEDIDO



minuto, los pedidos se pueden ensamblar siguiendo las especificaciones de los clientes. Algunos fabricantes de automóviles tienen esta modalidad de diseño de procesos y pueden ensamblar un automóvil siguiendo el pedido del cliente en una línea de ensamble. Como pone de manifiesto la Instantánea Industrial 4.5, Compaq Computer Corporation ha modificado el ensamble de sus compu-

INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 4.5

COMPAQ AHORA PRODUCE SOBRE PEDIDO

Compaq Computer Corporation ha descartado sus largas líneas de ensamble y ahora arma sus computadoras en celdas de tres personas que ensamblan los aparatos para existencia. En esta disposición, el equipo de tres personas analiza el siguiente pedido de cliente en un monitor para ver los atributos de la máquina a ensamblar (accesorios, tipo de unidades de disco, etc.) y arma una computadora específicamente para ese cliente. En la celda de tres personas, una de ellas prepara todos los subensambles que forman parte de una computadora; la segunda los instala en el bastidor de la máquina y la tercera efectúa todas las pruebas necesarias para asegurarse que los circuitos estén correctamente conectados. Con este método de producción, las partes y subensambles se llevan a inventario antes de recibir los pedidos de los clientes, pero los productos terminados no; el ensamble final sólo se hace después de haber recibido el pedido. Con ello Compaq puede hacer coincidir su producción con los pedidos de los clientes reduciendo el costo de todos los pasos de la producción, inventarios, manejo, flete y productos no vendidos. La elección del sistema de producir sobre pedido también disminuye la dependencia de Compaq de los pronósticos del mercado. La empresa afirma que el volumen producido por cada empleado de una celda de tres personas aumentó 23% y la producción por pie cuadrado de superficie de planta de la fábrica se incrementó 16% en comparación con las líneas de ensamble de producción para existencias.

Fuente: "Compaq Storms the PC Heights from Its Factory Floor." *The New York Times*, 13 de noviembre de 1994, 1.

tadoras personales a un sistema de producción sobre pedido. Esta combinación ha resultado posible debido a la estandarización de componentes, la estandarización del diseño básico del producto y un excelente sistema de información y de comunicación.

Por otra parte, un fabricante de muebles pudiera usar el sistema de producción orientado al proceso, con el fin producir para existencia. En vista de la tecnología de la preparación de la madera, el lijado y preparación de las superficies, la pintura, tapicería y el empaque, estas operaciones son más compatibles con un sistema enfocado a los procesos. Pero en razón a los diseños estándar de los productos, se sigue una política de inventarios de productos terminados de producir para existencias de almacén.

DISEÑO DE PROCESOS EN LOS SERVICIOS

Como se vio antes, las dimensiones del diseño de los servicios son el grado de estandarización, el grado de contacto con el cliente y la mezcla de bienes físicos y de servicios intangibles. El diseño final de un servicio fijará cada una de estas dimensiones y será impulsado por la estrategia de negocio de la empresa. La estrategia de las operaciones que resulta de la estrategia de negocios también requiere de un plan para la producción de los servicios.

Gran parte del análisis sobre cómo diseñar procesos de producción para productos es también aplicable a la producción de servicios. Algunos de los factores de importancia para el diseño de procesos para productos también son importantes en los servicios y no se repetirán aquí. Nos referimos a la naturaleza de la demanda del cliente (tanto por lo que se refiere a su nivel como a su patrón), el grado de integración vertical, la flexibilidad en la producción, el grado de automatización y la calidad del servicio. En muchos servicios es de particular importancia tener flexibilidad en el volumen. La naturaleza fundamental de muchos servicios, como se puede ver en la tabla 2.8, genera la necesidad de flexibilidad en el volumen, es decir la capacidad de incrementar o reducir rápidamente la cantidad de productos producidos. Esta necesidad nace de la imposibilidad para muchos servicios de almacenar servicios terminados en anticipación a la demanda de los clientes. En el caso de algunos de ellos, esta imposibilidad requiere que los procesos de producción se diseñen para generar y entregar el servicio en cuanto el cliente lo demando o, de lo contrario se perderán ventas.

Otra forma en la que el diseño de los procesos de producción para los servicios es semejante a los de productos, es que las técnicas utilizadas para decidir entre alternativas de procesamiento para los productos son también aplicables a los servicios. No obstante, los tipos de procesos de producción para los servicios son muy distintos a los de productos.

Para comprender mejor los procesos de producción para los servicios, ayuda pensar en términos de tres esquemas para producir y entregar servicios:

1. **Cuasimanufactura**. Un ejemplo de esta metodología se encuentra detrás de los puntos de venta de comida rápida como los de McDonald's. Una producción enfocada al producto o enfocada al proceso pudiera ser apropiada, dependiendo de la naturaleza de los bienes o servicios a producir. En este caso, los bienes físicos son los que dominan sobre los servicios intangibles, con poco contacto con el cliente. *La característica distintiva de este esquema es que la producción de bienes ocurre sobre una línea de producción con prácticamente ninguna participación del cliente en la producción.*
2. **Cliente como participante**. Ejemplos de este sistema son los cajeros automáticos, la venta al menudeo, las estaciones de gasolina de autoservicio y las barras de ensaladas. Los bienes físicos juegan un papel significativo en el servicio y los servicios pueden ser estandarizados o sobre pedido. *La característica distintiva de este esquema es el elevado grado de participación del cliente en el proceso de generación del servicio.*
3. **Cliente como producto**. Ejemplos de este procedimiento son las clínicas médicas y los salones de belleza. Estos esquemas proporcionan un servicio personalizado y un elevado grado de contacto con el cliente. *La característica distintiva de este método es que el servicio se da a través de una atención personal al cliente.* Este esquema puede proporcionar una percepción de una elevada calidad.

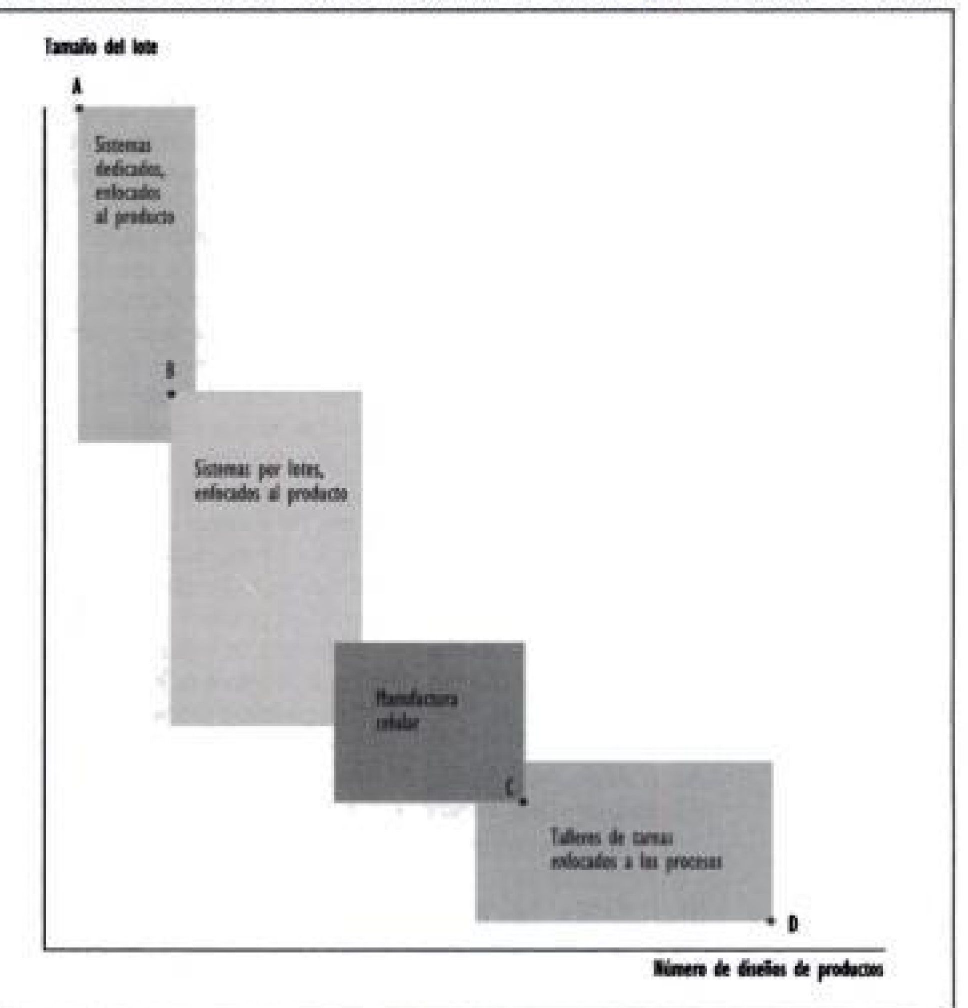
Al examinar estos tipos de procesos para la producción de los servicios, vemos que el grado de contacto con el cliente es fundamental para el diseño del proceso. En un extremo, los servicios de clientes como producto de las peluquerías, salones de belleza y clínicas médicas, el servicio se da de hecho en la persona misma del cliente quien se convierte en el centro focal del diseño de los procesos de producción. Cada elemento de equipo, capacitación del personal y edificios deberán diseñarse pensando en el cliente. También, deberá incluirse una atención cortés en un entorno cómodo y confortable para recibir, conservar, procesar y liberar a los clientes. En el otro extremo, los servicios de cuasimanufactura, como en las oficinas traseras de los bancos, donde no existe contacto con el cliente y esas operaciones pueden sujetarse a un alto grado de automatización para lograr un costo bajo y rapidez, sin importar las relaciones con el consumidor.

Los gerentes de operaciones de servicio tienden a dejar el diseño de los procesos de producción para los servicios en un nivel verbal y subjetivo. G. Lynn Shostack, vicepresidente senior a cargo del Grupo de Atención a Clientes en Bankers Trust Company, urge a los gerentes a que desarrollen un procedimiento más cuantificable y objetivo en el diseño de los procesos para servicios y sugiere los siguientes pasos:

1. *Identifique los procesos*. Desarrolle diagramas de flujo o diagramas que interconecten los pasos de producción dentro del sistema general de producción. Incluya los pasos que el cliente no ve, como la adquisición de suministros.
2. *Aísle los puntos de falla.* Una vez diagramado el proceso, determine los puntos de decisión donde pudiera fallar el sistema de producción. Incorpore pasos correctivos que eviten las consecuencias de posibles errores.
3. *Establezca un marco temporal.* Estime el tiempo requerido por cada paso del servicio. Estas estimaciones se convierten en los estándares contra los cuales se medirá el desempeño del sistema. Si se prestan los servicios utilizando más tiempo que los estándares, la productividad y la rentabilidad serán inferiores de lo esperado.
4. *Analice la rentabilidad.* Vigile continuamente la rentabilidad del servicio. Esta vigilancia hará que se evite la falta de rentabilidad, que se mida la productividad, que se mantenga uniformidad y que la calidad se controle.[5]

Procedimientos como éstos son necesarios para mejorar la competitividad de los servicios.

FIGURA 4.10 EL TIPO DE DISEÑO DE PROCESO DEPENDERÁ DE LA DIVERSIDAD DE LOS PRODUCTOS Y DEL TAMAÑO DE LOS LOTES



Otro concepto popularizado recientemente relacionado con el diseño de los procesos es la **reingeniería de los procesos**, que es la idea de modificar *drásticamente* un diseño de proceso existente, como si se estuviera diseñando desde cero sobre una hoja de papel en blanco, en vez de simplemente efectuar mejoras marginales sucesivas al proceso. Puesto que un proceso correctamente rediseñado debe ser más eficiente, a menudo el resultado de la reingeniería de los procesos es una reducción de la mano de obra.

Hasta ahora hemos analizado los diferentes tipos de diseño de los procesos, pero ¿cuáles son los criterios a seguir para decidir entre los distintos tipos de diseño?

DECISIÓN ENTRE ALTERNATIVAS DE PROCESAMIENTO

Al escoger un proceso de producción, deberán tomarse en consideración varios factores, entre los que podemos mencionar el tamaño de los lotes y la diversidad de los productos, las necesidades de capital y el análisis económico.

TAMAÑO DE LOS LOTES Y DIVERSIDAD DE LOS PRODUCTOS

La figura 4.10 muestra que el tipo de diseño de proceso que resulta apropiado dependerá de la cantidad de diseños de productos y del tamaño de los lotes a fabricar en un sistema de producción.

Conforme pasamos del punto A al punto D de la figura 4.10, aumenta el costo unitario de producción y la flexibilidad de los productos. En el punto A, sólo existe un producto con demanda muy elevada. En este caso extremo, resulta apropiada una organización enfocada al producto dedicada a éste. Los costos unitarios de producción son muy reducidos, pero este tipo de organización de la producción resulta altamente inflexible en razón a lo especializado del equipo para el producto y a la capacitación específica recibida por los empleados que hacen que no sea práctico cambiar a la producción de otros productos. Conforme aumenta la cantidad de productos diferentes y se reduce el tamaño de los lotes de los productos, llegado a determinado punto, digamos el punto B, resulta apropiado un sistema por lotes enfocado al producto. A pesar de que este sistema es relativamente inflexible, se capacita a los empleados para que cambien a la producción de otros productos y el equipo está diseñado para ello, aunque con ciertas dificultades.

En el otro extremo, el punto D representa la producción de muchos productos individualmente diferentes. En este caso, lo apropiado sería un taller de tareas produciendo bienes únicos en lotes de una sola unidad. Esta forma de producción es el máximo en flexibilidad de los productos. Conforme se reduce el número de productos y se incrementa el tamaño de los lotes a partir de este extremo, llegado a cierto punto, digamos al punto C, se hace más apropiada una manufactura celular para una cierta parte de la producción dentro de un taller de tareas.

Sería útil consultar la figura 2.3 del capítulo 2. En ella, se presentó el concepto de **ciclo de vida del proceso**. Dicho simplemente, los sistemas de producción tienden a pasar a través del ciclo de vida de los procesos. Existen dos principios fundamentales relacionados con los ciclos de vida de los procesos. Los ciclos de vida de los productos y los ciclos de vida de los procesos son interdependientes; uno afecta al otro. Los procesos de producción afectan los costos de producción, la calidad, la capacidad de producción, lo que a su vez afecta al volumen de productos que puedan venderse. De manera similar, el volumen de los productos que pueden venderse afecta al tipo de proceso de producción que es posible justificar.

Por lo tanto, *conforme se desarrollan estrategias de negocios para cada una de las líneas principales de productos, resulta un factor importante para la selección de diseño del proceso determinar el volumen de la demanda esperada para cada producto y la cantidad de modelos diferentes necesaria para que resulten atractivas para el mercado.* Otros factores también afectan esta decisión.

NECESIDADES DE CAPITAL PARA LOS DISEÑOS DE PROCESOS

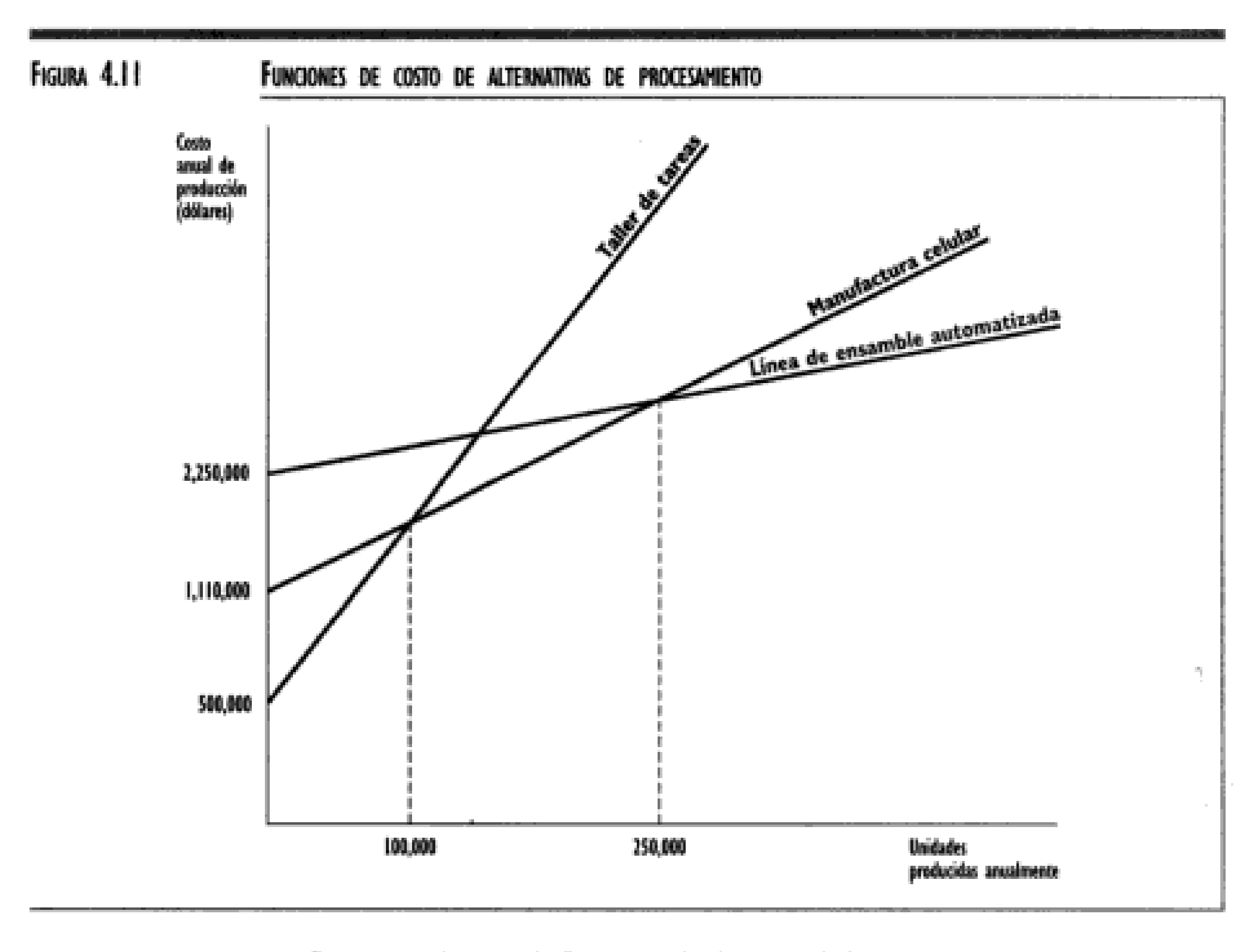
El monto de capital necesario para el sistema de producción tiende a ser distinto dependiendo del tipo de proceso de producción. En la figura 4.10, en general, el capital requerido es el máximo en el punto A y va disminuyendo conforme se va pasando hacia abajo a la derecha hacia el punto D. Para una empresa, el capital disponible y el costo del capital pudieran ser factores de importancia para la selección de un tipo de diseño de proceso y las estrategias empresariales tendrán que ser ajustadas de manera correspondiente.

ANÁLISIS ECONÓMICO

Entre los factores a considerar al decidir sobre el tipo de organización de procesamiento de la producción, es importante el costo de producción de cada una de las alternativas. En esta sección analizaremos las funciones de costo de las alternativas de procesamiento, el concepto del apalancamiento operacional, el análisis de punto de equilibrio y el análisis financiero.

Funciones de costo de alternativas de producción Como dijimos antes, cada tipo de proceso tiene diferentes necesidades de capital. Por lo general, los costos de capital se presentan en forma de cargos fijos mensuales y que representan de alguna manera el costo que el capital tiene para la empresa. La figura 4.11 ilustra gráficamente que las diferentes formas de diseño de procesos para hacer un producto tienen distintas funciones de costo. Mientras más elevado sea el costo inicial del equipo, edificios y otros activos fijos, mayores serán los costos fijos. También, distintas formas de organizar la producción tienen costos variables diferentes, que cambian en función del volumen producido cada mes.

FIGURA 4.11 FUNCIONES DE COSTO DE ALTERNATIVAS DE PROCESAMIENTO



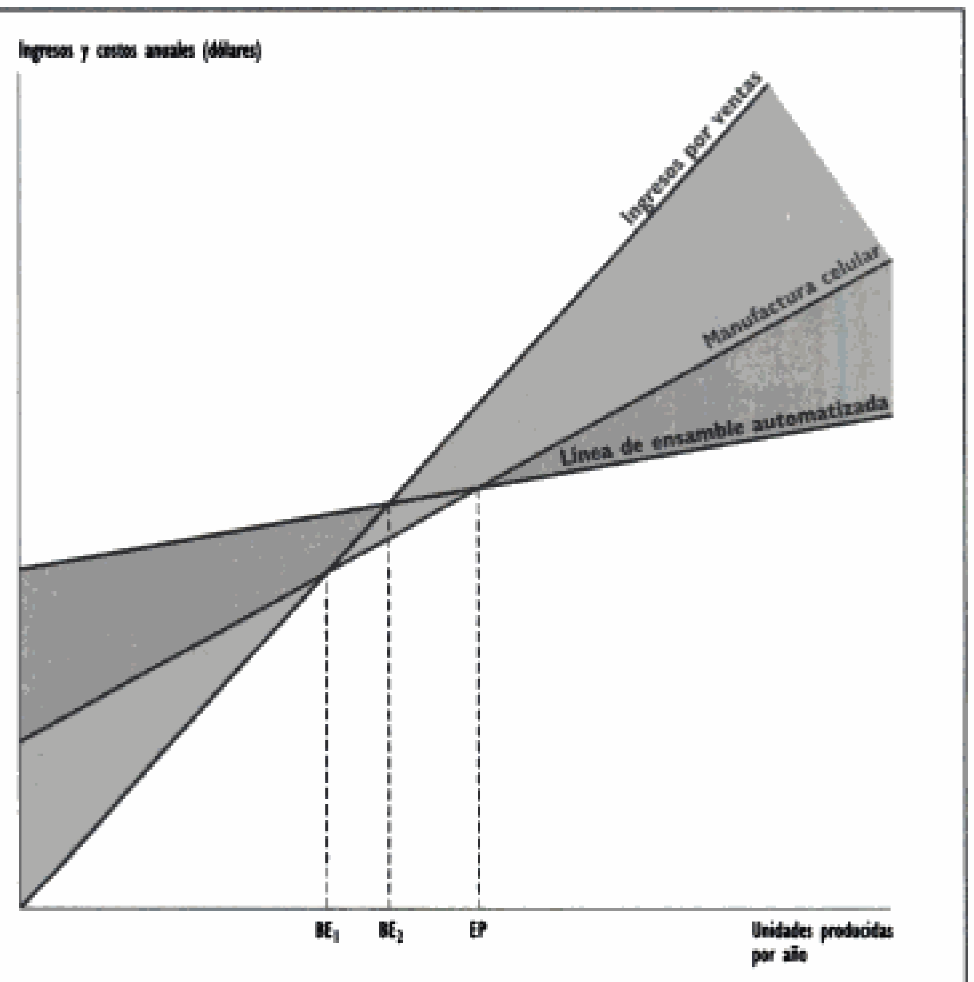
Como se puede ver en la figura 4.11, la alternativa de la línea de ensamble automatizada tiene costos fijos anuales de dos millones, 250 mil dólares. Se definen los costos fijos como los costos anuales incurridos cuando el volumen anual producido es igual a cero. Estos costos están relacionados con los enormemente costosos robots, los controles computarizados y el equipo de manejo de materiales que una línea de ensamble automatizada requiere. También, se puede observar en la figura 4.11, que los costos variables (mano de obra, materiales y gastos generales variables) correspondientes a la línea de ensamble automatizada son muy bajos comparados con los de las otras formas de diseño de los procesos, puesto que la pendiente (incremento conforme aumenta la producción) de su función de costo es muy plana. Ello quiere decir que los costos anuales no se incrementan con mucha rapidez al aumentar el volumen anual de la producción. La función de costo de un taller de tareas por lo común exhibe costos fijos muy reducidos y costos variables muy elevados. Los costos fijos y variables de la manufactura celular generalmente quedan en un punto intermedio entre los otros dos diseños de procesos.

Una conclusión importante a sacar de la figura 4.11 es la siguiente: *Si la disponibilidad de capitales no es un factor limitante y lo importante son los costos de producción, el diseño de proceso preferido dependerá del volumen de producción del producto.* En el ejemplo de la figura 4.11, si el volumen anual de producción es inferior a 100 mil unidades, se preferiría un taller de tareas; si el volumen que se espera está entre 100 mil y 250 mil unidades, se deberá preferir la manufactura celular, y si la producción se espera va a exceder las 250 mil unidades, se preferirá una línea de ensamble automatizada.

Otro concepto importante relacionado con el análisis económico es el apalancamiento de operación.

Concepto del apalancamiento operacional Al examinar las funciones de costo de las alternativas de procesamiento, el principio del apalancamiento operacional presenta importantes implicaciones. *El **apalancamiento operacional** es una medida de la relación entre los costos anuales de una*

FIGURA 4.12 APALANCAMIENTO OPERACIONAL Y ALTERNATIVAS DE DISEÑO DE PROCESOS



empresa y de sus ventas también anuales. Si un porcentaje sustancial de los costos totales de una empresas son costos fijos, entonces se dice que la empresa tiene un grado elevado de apalancamiento operacional. Un apalancamiento operacional elevado, sin modificar otros factores, implica que un pequeño cambio porcentual en las ventas darán como resultado un sustancial cambio porcentual en la utilidad operacional (diferencia entre ventas anuales y los costos anuales de producción).

La figura 4.12 ilustra el concepto del apalancamiento operacional. En el nivel de producción BE_1, los costos anuales de producción de la manufactura celular son iguales a los ingresos anuales por ventas, es decir, el punto de equilibrio. Las áreas sombreadas a la derecha y a la izquierda de BE_1 representan utilidades a la derecha y pérdidas a la izquierda. El principio del apalancamiento operacional está relacionado con el ángulo que se forma entre las líneas de la función de costo y de los ingresos por ventas. Si el apalancamiento es pequeño y el ángulo por lo tanto también lo es, las utilidades aumentan con lentitud hacia la derecha del punto de equilibrio y las pérdidas aumentan lentamente hacia la izquierda del punto de equilibrio. Si el apalancamiento operacional es grande y el ángulo por lo tanto también grande, las utilidades y las pérdidas se incrementan con rapidez hacia la derecha o hacia la izquierda del punto de equilibrio, respectivamente.

Como también podrá notar de la figura 4.12, el apalancamiento operacional para el caso de las líneas de ensamble automatizadas están representadas por las áreas sombreadas a la derecha y la izquierda, respectivamnete, del volumen BE_2, que es el punto de equilibrio. El apalancamiento operacional para el proceso de la línea de ensamble automatizada es superior que el correspondiente a la manufactura celular, y tiene las siguientes implicaciones de importancia para la selección del diseño de los procesos:

TABLA 4.3 **DEFINICIONES DE VARIABLES Y FÓRMULAS PARA EL ANÁLISIS DE PUNTO DE EQUILIBRIO**

p = precio de venta unitario	Q = unidades producidas y vendidas por periodo
v = costo variable unitario	P = utilidad antes de impuestos por periodo
FC = costo fijo total por periodo	TR = ingresos totales por periodo
TVC = costo variable total por periodo	TC = costo total por periodo
C = contribución por periodo	c = contribución unitaria
	En el punto de equilibrio (P = 0)
1. $TR = pQ$	8. $FC = pQ - vQ = Q(p - v)$
2. $c = p - v$	9. $Q = FC/(p - v)$
3. $C = Q(p - v) = TR - vQ = FC + P$	10. $TVC = TR - FC = pQ - FC$
4. $TC = FC + TVC$	11. $v = \frac{TR - FC}{Q} = \frac{pQ - FC}{Q} = p - \frac{FC}{Q}$
5. $TVC = vQ$	
6. $P = TR - TC = pQ - (FC + vQ)$	12. $TR = FC + TVC = FC + vQ$
7. $Q = (P + FC)/(p - v)$	13. $p = (FC + vQ)/Q = FC/Q + v$

1. Se pueden realizar utilidades mayores a largo plazo partiendo de procesos de producción con un apalancamiento operacional más elevado, una vez alcanzado un cierto volumen de producción (Punto EP de la fig. 4.12).
2. Se puede incurrir en pérdidas mayores a largo plazo de procesos de producción con un apalancamiento operacional más elevado, si el volumen de producción es inferior al punto de equilibrio (Punto BE_2 de la fig. 4.12).
3. Mientras mayor sea el apalancamiento operacional de un proceso de producción, mayor será la incertidumbre de utilidades futuras.
4. Mientras mayor sea la incertidumbre de los pronósticos de ventas, mayor será el riesgo de pérdidas si se usan procesos de producción con un elevado apalancamiento operacional.

El significado práctico de estas implicaciones es que en caso de que exista un elevado grado de incertidumbre en relación con el pronóstico de la cantidad de unidades a producir, se tenderá a preferir diseños de procesos con menores niveles de apalancamiento operacional.

Análisis de punto de equilibrio El análisis de punto de equilibrio se utiliza comúnmente como ayuda para la selección entre alternativas de procesos. A continuación, recorreremos un ejemplo para recordar los principios de punto de equilibrio y para demostrar cómo se puede utilizar el análisis de punto de equilibrio para comparar alternativas de procesamiento de la producción.

La tabla 4.3 contiene las definiciones de las variables y las fórmulas para un análisis de punto de equilibrio con base en líneas rectas. El ejemplo 4.1 compara las funciones de costo de tres alternativas de procesamiento de la producción.

EJEMPLO 4.1

ANÁLISIS DE PUNTO DE EQUILIBRIO: SELECCIÓN DE UN PROCESO DE PRODUCCIÓN

Tres procesos de producción, automatizado (A), manufactura celular (C) y taller de tareas (J) tienen la siguiente estructura de costos:

Proceso	Costo fijo anual (dólares)	Costo variable unitario (dólares)
A	110,000	2
C	80,000	4
J	75,000	5

a. Para un volumen de 10 mil unidades anuales, ¿cuál es el proceso más económico?
b. ¿A qué volumen se preferiría cada uno de los procesos?

SOLUCIÓN

a.

$$TC = FC + v(Q)$$
$$TC_A = FC_A + v_A(10{,}000) = 110{,}000\text{dls} + 2(10{,}000)\text{dls} = 130{,}000\text{dls}$$
$$TC_C = FC_C + v_C(10{,}000) = 80{,}000\text{dls} + 4(10{,}000)\text{dls} = 120{,}000\text{dls}$$
$$TC_J = FC_J + v_J(10{,}000) = 75{,}000\text{dls} + 5(10{,}000)\text{dls} = 125{,}000\text{dls}$$

El proceso correspondiente a la producción en manufactura celular tiene el costo más bajo cuando Q = 10,000 unidades.

b.

$$TC_J = TC_C$$
$$FC_J + v_J(Q) = FC_C + v_C(Q)$$
$$75{,}000\text{dls} + 5\text{dls}(Q) = 80{,}000\text{dls} + 4\text{dls}(Q)$$
$$Q = 5{,}000 \text{ unidades}$$
$$TC_C = TC_A$$
$$FC_C + v_C(Q) = FC_A + v_A(Q)$$
$$80{,}000\text{dls} + 4\text{dls}(Q) = 110{,}000\text{dls} + 2\text{dls}(Q)$$
$$2\text{dls}Q = 30{,}000\text{dls}$$
$$Q = 15{,}000 \text{ unidades}$$

En un volumen anual en el rango de cero a cinco mil unidades deberá preferirse el proceso del taller de tareas, de cinco mil a 15 mil unidades anuales se escogería la manufactura celular y para producciones superiores a 15 mil o más unidades se preferiría el proceso automatizado. Existiría indiferencia entre el proceso de la manufactura celular y el proceso automatizado en las 15 mil unidades.

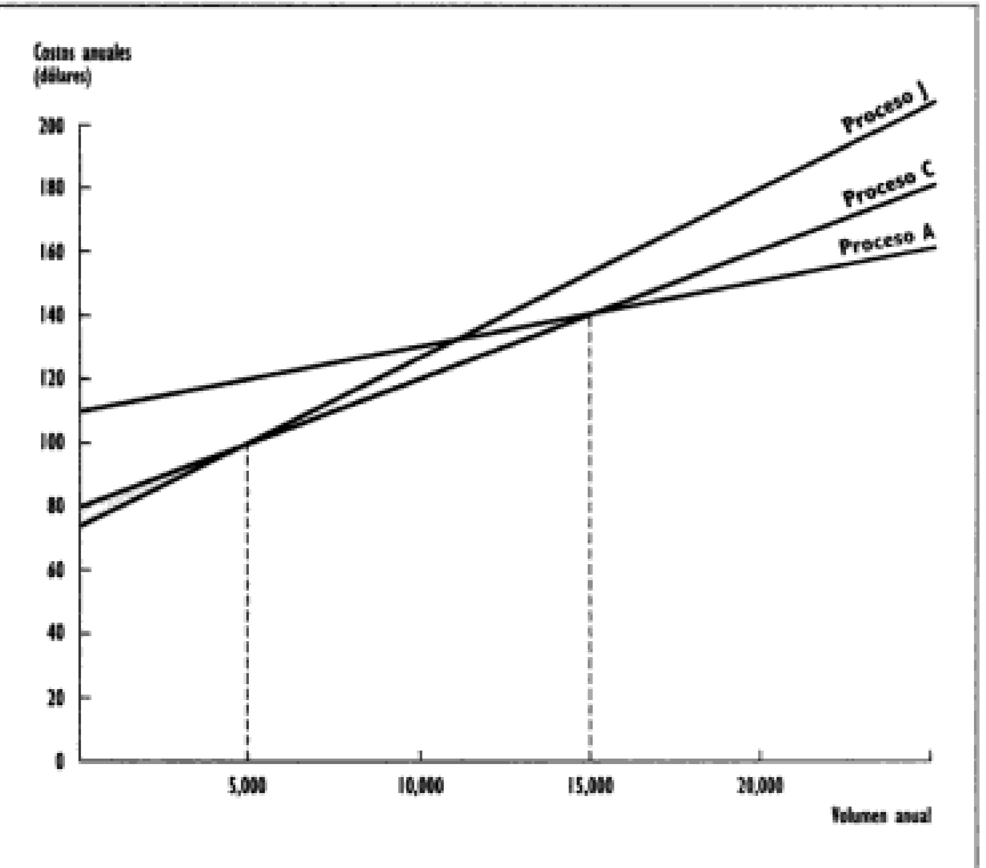
El **análisis de punto de equilibrio** es ampliamente utilizado para analizar y comparar alternativas de decisión. Ciertamente tiene, sin embargo, algunos puntos débiles, en comparación con otros métodos. Un punto débil importante es la incapacidad del método de tratar de manera directa con la incertidumbre. Todos los costos, volúmenes e información utilizada en esta técnica debe suponerse conocida con certeza. Otra desventaja de la herramienta es que supone que los costos se mantienen constantes para la totalidad del posible rango de volúmenes de producción. Además, el análisis de punto de equilibrio no toma en cuenta el valor del dinero en el tiempo.

El análisis de punto de equilibrio puede desplegarse algebraicamente, como en el ejemplo 4.1, o gráficamente, como en la figura 4.13. En cualquiera de estas formas, los resultados se explican con facilidad. Ésta es una ventaja importante, ya que *los gerentes a menudo preferirán vivir con un problema que no pueden resolver que poner en práctica una solución que no comprenden.*

Análisis financiero Los grandes montos de efectivo que se deben invertir en las alternativas de procesamiento de la producción y el tiempo que se espera duren estos activos hacen del valor del dinero en el tiempo un concepto importante. El periodo de recuperación, el valor presente neto, la tasa interna de rendimiento y el índice de rentabilidad son métodos que se utilizan para analizar problemas de la administración de la producción y de las operaciones que involucren largos periodos. Aunque quedan fuera del alcance del curso, estas técnicas son herramientas valiosas para comparar alternativas de procesamiento.



FIGURA 4.13 ENFOQUE GRÁFICO DEL ANÁLISIS DE PUNTO DE EQUILIBRIO



DIAGRAMAS DE ENSAMBLE

Típicamente, los **diagramas de ensamble** se usan para dar una *macrovista* general de cómo se unen materiales y subensambles para formar un producto terminado. Estos diagramas enlistan todos los materiales y componentes principales, las operaciones de subensamble, las inspecciones y las operaciones de ensamble. La figura 4.14 es un diagrama de ensamble que muestra los principales pasos para el ensamble de una pequeña calculadora electrónica. Siga estos pasos y trate de visualizar las operaciones reales que se efectúan para producir este producto tan familiar.

Los diagramas de ensamble, que a veces se conocen como **diagramas de "gozinto"** (por las palabras en inglés, goes into "entra en") son ideales para una visión a ojo de pájaro del proceso para la producción de la mayor parte de los productos ensamblados. También resultan útiles para planear sistemas de producción para servicios cuando éstos involucran el procesamiento de bienes tangibles, como en restaurantes de comida rápida, tintorerías y centros de afinación rápida de automóviles.

DIAGRAMAS DE PROCESO

Los **diagramas de proceso** proporcionan un mayor detalle para quienes deben planear los procesos que los diagramas de ensamble. La figura 4.15 muestra los pasos que se requieren para el procesamiento de mil 500 libras de materiales preparados mediante una operación de mezclado. El diagrama incluye el análisis detallado de sólo una de las operaciones necesarias para producir aspirina en tabletas. Esta herramienta de planeación desglosa la operación de mezclado en 14 pasos elementales y los agrupa en cinco categorías: operación, transporte, inspección, demora y almacenamiento. Queda registrada la frecuencia con la que cada una de las categorías ocurre, la distancia recorrida y la descripción y el tiempo de cada uno de los pasos. Una vez terminado el encabezado del diagrama, queda totalmente documentado el método de ejecución de esta operación de mezclado.

FIGURA 4.14 DIAGRAMA DE ENSAMBLE PARA LA CALCULADORA ELECTRÓNICA OK-20

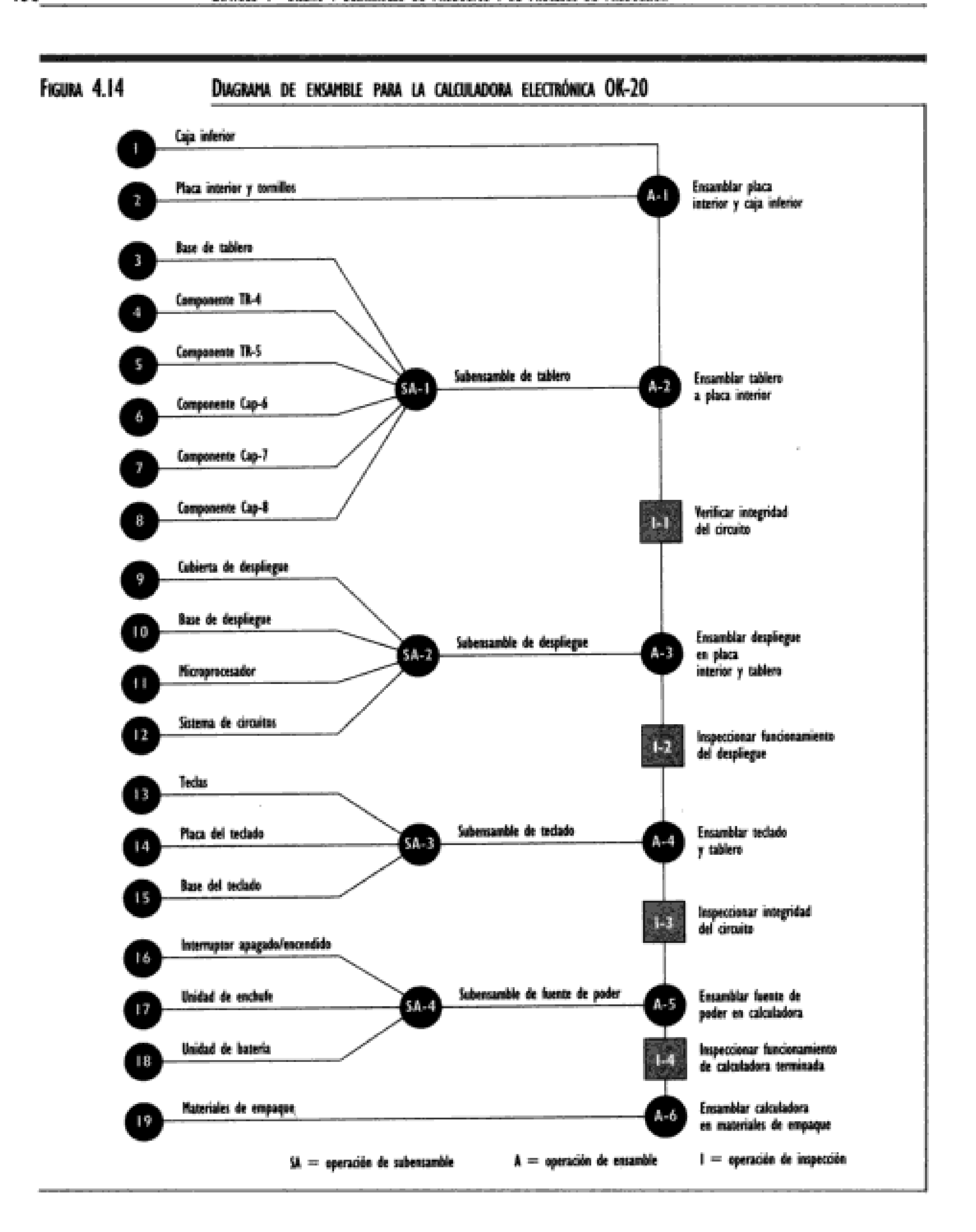


FIGURA 4.15 DIAGRAMA DE PROCESO PARA EL MEZCLADO DE ASPIRINA

Operación: Mezclar materiales para aspirina Producto: Aspirina Pronto (325) Departamentos: Mezcla Dibujo No. ——— Número de parte 42200 Cantidad: 1,500 libras de mezcla para Aspirina Pronto (325) Presente X Propuesto ____	Hoja 1 de 1 Hojas Diagramado por B. Brown Fecha 3-16 Aprobado por M. Sharp Fecha 3-17	Resumen Operación: 5 Transporte: 5 Inspección: 1 Demora: 1 Almacenamiento: 2 Distancia vertical: — Distancia horizontal: 212 Tiempo (horas): 1.041

Número	Distancia recorrida (pies)	Tiempo de operario (horas)	Símbolos	Descripción
1	15	.200		Descargar paquetes de material del camión a la plataforma.
2	42	.033		Transportar paquetes de material al área de almacenamiento.
3				Almacenar materiales hasta que se necesiten.
4	25	.025		Mover los paquetes a la tolva de carga.
5		.330		Desempaquetar los materiales y vaciar en tolva de carga.
6	20	.030		Transportar tolva a mezcladora.
7		.100		Cargar mezcladora e iniciar el ciclo de mezclado.
8		.083		Esperar a que la mezcladora termine el ciclo de mezclado.
9		.017		Descargar carga de la mezcladora en vehículo receptor.
10		.020		Inspeccionar el mezclado correcto de los materiales.
11	50	.033		Transportar vehículo a la báscula y estación de empaque.
12		.167		Operar máquina para pesar y empacar 1,500 libras de mezcla.
13	60	.033		Transportar materiales a la plataforma.
14				Almacenar materiales hasta que llegue el camión.

Los diagramas de proceso pueden utilizarse para comparar métodos alternativos de ejecución de operaciones individuales o de grupos de operaciones. La distancia recorrida podrá, entonces, reducirse al examinar diagramas de procesos alternativos para métodos distintos de producción. Esta herramienta de planeación de los procesos puede emplearse en los productos/servicios elaborados en sistemas de producción continuos o intermitentes. Además, es de igual valor para la planeación de los procesos cuando se está pensando en nuevos productos/servicios o cuando se están analizando las operaciones existentes para mejorarlas. Los diagramas de proceso volverán a aparecer de nuevo en el capítulo 16 cuando veamos el análisis del desempeño del ser humano en los sistemas de producción.

Recorridos de plantas

Una fábrica enfocada al producto: Safety Products Corporation, Richmond, Virginia

Safety Products Corporation es el proveedor más grande de productos para la señalización y seguridad de los transportes en Estados Unidos. Sus productos se venden en cuatro mercados principales: carretero, ferroviario, marítimo y construcción. Para el mercado carretero, sus principales productos son las bengalas luminosas para autopista, los reflectores y las señales para vehículos lentos. Para los mercados de ferrocarril y marítimo, la empresa surte una diversidad de bengalas luminosas para fines de señalización. Para el mercado de la construcción, produce una amplia gama de señales de advertencia y de dispositivos de señalización.

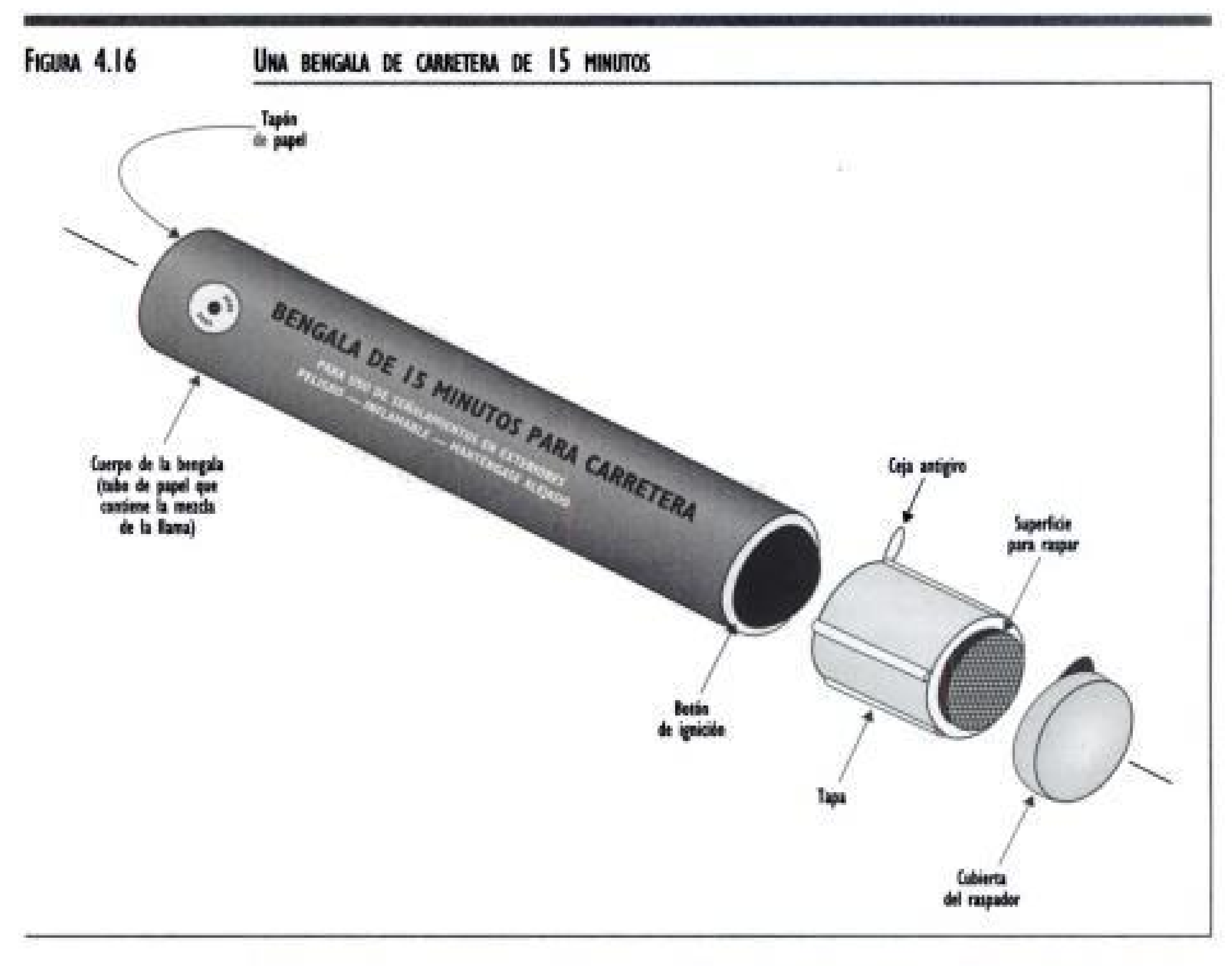
La empresa se inició en 1938 y pronto se convirtió en el principal proveedor de señales luminosas para los ferrocarriles de Estados Unidos. Desde entonces, el tráfico carretero ha empequeñecido al tráfico por ferrocarril, y la empresa gradualmente ha venido agregando productos para seguridad y de señalización para este mercado en crecimiento. Entre todos sus productos, las señales luminosas para carretera representan aproximadamente 60% de los ingresos por ventas de la empresa. Las bengalas de autopista se utilizan como dispositivos de señalización cuando una urgencia en el camino exige que se advierta a los otros vehículos. Los conductores que se acercan pueden verlos fácilmente tanto de noche como de día, así como también en condiciones climáticas adversas como en lluvia o nieve. Los municipios y las organizaciones de vigilancia de las leyes son responsables de gran parte de las ventas de este producto, pero las ventas de señales a tiendas de autopartes, a tiendas de artículos para la construcción y a otros puntos de venta que atienden directamente al consumidor están aumentando. El crecimiento en las ventas de bengalas para carretera fue tan considerable que se construyeron tres nuevas plantas fabriles en Virginia, California y Iowa.

Estrategia de negocios La planta de Richmond, Virginia, se construyó como elemento clave de la estrategia de negocio relativa a las bengalas para carretera, que hace hincapié en bajos costos de manufactura mediante la automatización, bajos costos de transporte y una superioridad tecnológica del producto. Los costos de manufactura y de embarque son de importancia estratégica debido a que las organizaciones encargadas del cumplimiento de las leyes adquieren aproximadamente 75% de este producto y la obtención de estos contratos depende de la capacidad de la empresa de presentar licitaciones competitivas a precios bajos.

La ubicación de la planta es de importancia estratégica para poder mantener reducidos costos de transporte. La localización en la costa este de Estados Unidos es una excelente elección para el control del costo de los embarques de materias primas de entrada, puesto que los materiales principales que se reciben en la planta son el papel que llega del noreste de Estados Unidos y Canadá, y los productos químicos que provienen de Europa. Los costos de los embarques hacia el exterior de los productos terminados se mantienen reducidos debido a la proximidad de la fábrica con los centros de población del noreste de Estados Unidos.

La superioridad tecnológica de las bengalas fabricadas por la empresa ha quedado establecida mediante mejores fórmulas químicas, extensos programas de investigación y desarrollo, y servicio técnico a los clientes. La compañía se ha ganado una valiosa reputación como el proveedor más antiguo de señales para ferrocarril con una tradición de seguridad y estrictos estándares de desempeño. Los extensos programas de investigación y desarrollo han dado como resultado diseños de pro-

FIGURA 4.16 **UNA BENGALA DE CARRETERA DE 15 MINUTOS**



ducto robustos, que se desempeñan de acuerdo a lo esperado incluso cuando su manufactura o las condiciones en el campo se aparten de lo normal. La empresa alienta a las principales organizaciones encargadas de vigilar el orden a que efectúen pruebas de productos de la competencia y para ello ha suministrado equipo de prueba y manuales. Como consecuencia de estas actividades, las organizaciones encargadas del orden público han afinado sus criterios de desempeño para las bengalas luminosas de carretera para dar preferencia a productos de una mayor calidad.

El producto La figura 4.16 muestra una bengala de carretera de 15 minutos. Este producto está fabricado con un tubo de papel enrollado, lleno de una mezcla de productos químicos conocida como *mezcla de llama*, coronada por una mezcla de productos químicos conocida como *botón de ignición* y cubierto por una tapa en uno de cuyos extremos existe una superficie recubierta de una mezcla de productos químicos que se llama *mezcla de raspado*. La bengala se enciende retirando la cubierta del raspador de la tapa y la tapa del cuerpo de la señal, sujetando el cuerpo de la señal con una mano, la tapa en la otra, y raspando ligeramente la superficie de raspado contra el botón de ignición. Sobre el cuerpo de la bengala están impresas instrucciones de uso y de seguridad.

La fábrica La planta de Safety Products Corporation en Richmond, Virginia, embarca bengalas de 15 minutos para carretera a 15 estados de la costa este. La planta tuvo un costo de 50 millones de dólares y sus ventas anuales alcanzan cerca de 25 millones de dólares. Este tipo de fábrica se conoce como **fábrica dedicada**, pues la planta está dedicada única y exclusivamente a la producción de un solo producto, la bengala luminosa de 15 minutos, con una producción continua utilizando el equipo de la fábrica y sin cambiar a otros productos. Existen 10 operaciones de producción extremadamente automatizadas por las que los productos fluyen sin detenerse. El único inventario en proceso de importancia está formado por los productos existentes en la banda trans-

portadora en movimiento continuo que corre por toda la planta. Se han programado los materiales para que lleguen de los proveedores de forma que coincidan con las velocidades de producción de la planta. Aunque la demanda del producto es estacional, los niveles de empleo se mantienen bastante uniformes al permitir que los productos se vayan acumulando en el inventario de productos terminados durante los periodos en que el mercado presenta una demanda reducida, y que dichos inventarios se reduzcan durante los periodos de demanda elevada. Durante todo el año funcionan dos turnos completos de ocho horas y en periodos de demanda muy alta se utiliza el tiempo extra. Un plan de producción como éste requiere de un cuidadoso pronóstico de la demanda por ventas.

La fuerza de trabajo en la planta consiste de aproximadamente 150 empleados asalariados, representados por una división de un sindicato nacional de transportistas bien conocido. A cada empleado se le imparte un programa de capacitación de una semana que incluye la explicación de los programas y políticas de la empresa, cursos sobre seguridad y calidad del producto y entrenamiento o capacitación en el puesto. Hay 15 empleados con sueldo en la planta: un gerente de planta, cinco oficinistas, un superintendente de producción, seis supervisores de turnos de producción, dos empleados de ingeniería y mantenimiento y un especialista de control de calidad.

La figura 4.17 muestra la manera en que se fabrican las bengalas para carretera. Las materias primas se reciben en el almacén de materias primas por autotransportes comerciales o por carro de ferrocarril y se van trasladando de este almacén en pequeñas cantidades hacia la línea de producción de acuerdo con las necesidades. Los productos terminados se llevan de la línea de producción al almacén de productos terminados, donde se conservan hasta su embarque a los clientes en autotransportes comerciales.

A continuación se describen cada una de las principales operaciones de producción.

Enrollado de tubos Se colocan grandes rollos de papel rojo en *máquinas enrolladoras de tubos*, que de manera continua y automática tiran del papel de los rollos, lo cortan a la longitud de una bengala, le aplican pegamento sobre una cara, enrollan el papel con pegamento en la forma del tubo y lo dejan sobre una charola para que seque. Cada charola contiene 144 tubos, es decir una gruesa. Los operadores de esta estación, igual que los operadores responsables de todas las operaciones de la planta, vigilan el equipo, efectúan los ajustes necesarios, limpian las máquinas y el área de trabajo y arrancan y paran las máquinas según se requiera.

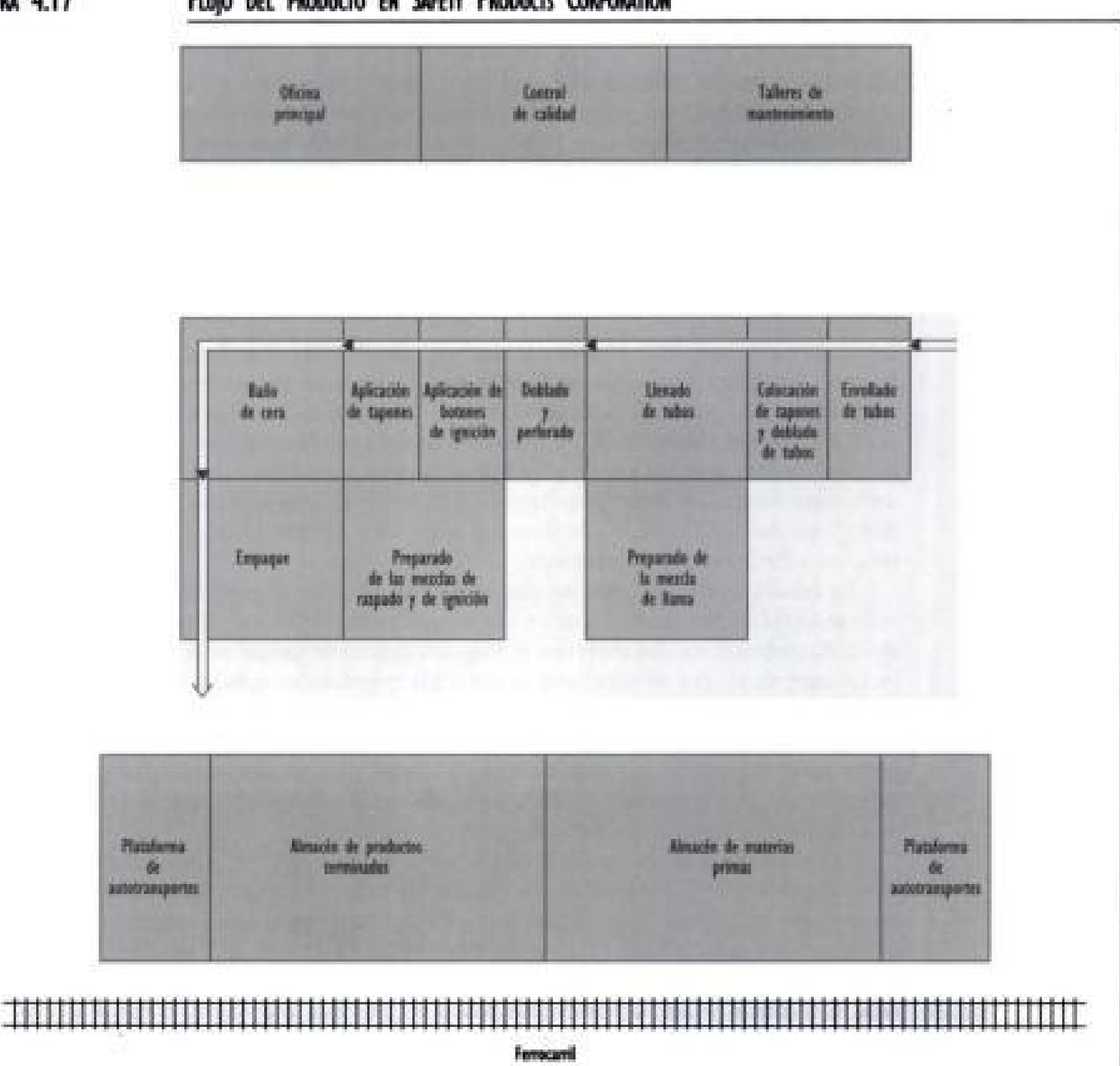
Cerrado y doblado de los tubos Las charolas de los tubos de papel ya secos son jaladas a *máquinas de cerrado y doblado*, que sujetan automáticamente los tubos de papel, insertan tapones de papel en las extremidades de los tubos, los doblan alrededor de los tapones que cierran los extremos y colocan las charolas otra vez sobre la banda transportadora.

Preparado de las mezclas de llama, raspado e ignición Los productos químicos se combinan según fórmulas patentadas para cada una de las tres mezclas del producto: la mezcla de llamas, la mezcla de ignición y la mezcla de raspado. Los operadores siguen cuidadosamente procedimientos preestablecidos de seguridad y calidad para asegurar una operación sin riesgo y un buen desempeño del producto. Los materiales se extraen de sus recipientes de embarque, y se colocan en las *máquinas mezcladoras*, donde se codifican instrucciones de mezclado programadas. Una vez terminadas las mezclas, se trasladan por bandas transportadoras a las áreas de la línea de producción. La responsabilidad clave de los operadores es mantener condiciones seguras de trabajo siguiendo estrictamente los procedimientos impresos de operación y conservando meticulosamente limpias las áreas de mezcla. Además, los operadores deben seguir rígidamente las fórmulas químicas establecidas para el producto.

Llenado de tubos Las charolas de los tubos de papel se jalan automáticamente a máquinas de llenado que rellenan los 144 tubos de papel con mezcla de llama, compactan la columna de la mezcla a la densidad deseada y devuelven las charolas a la banda transportadora.

Doblado y perforado Las charolas de tubos de papel ya llenos se trasladan por las bandas transportadoras hacia las *máquinas de doblado y perforado*, que acomodan las charolas, doblan la parte superior de los cuerpos de las bengalas, efectúan perforaciones en la parte superior de los cuerpos de las señales donde posteriormente se colocará la mezcla de ignición y empujan las charolas, cada una de ellas con una gruesa de cuerpos de bengalas de vuelta a la banda transportadora.

FIGURA 4.17 **FLUJO DEL PRODUCTO EN SAFETY PRODUCTS CORPORATION**



Aplicación de botones de ignición Las charolas de cuerpos de las bengalas se colocan automáticamente en las *máquinas surtidoras de ignitores*, que suministran automáticamente una cantidad preestablecida de un espeso líquido de mezcla de ignición en las cavidades hechas durante la operación de doblado y perforado y dejan la charola otra vez sobre la banda transportadora.

Aplicación de tapas Las *máquinas de tapas* totalmente automáticas tiran de las charolas y las dejan en posición, para a continuación colocar los ensambles de tapas de plástico en los cuerpos de las señales, devolviendo posteriormente las charolas a la banda transportadora.

Baño de cera Las charolas con bengalas son automáticamente conducidas a través de un baño de cera caliente para asegurar una protección a largo plazo contra la humedad y la entrada de agua.

Empaque Las bengalas se retiran automáticamente de las charolas y se ponen en cajas de cartón de una gruesa, es decir, 144 bengalas. Los cartones se sellan automáticamente, se ponen en tarimas y se sujetan formado una unidad mediante plástico autoadherible. Las tarimas son bastidores de base desechables que permiten que los montacargas coloquen sus uñas bajo las cargas para el

transporte y el plástico autoadherible es una película plástica que se enrolla alrededor de toda la carga. Cada tarima contiene 72 cajas de cartón. Las cargas unificadas se transportan a embarques donde se registran en el inventario o se etiquetan para su embarque inmediato.

La planta de Richmond se ha desempeñado más allá de lo esperado por Safety Products Corporation. Los costos de embarque y de producción han sido tan reducidos que la empresa ha logrado alcanzar una posición líder en licitaciones competitivas para el mercado de las organizaciones regionales dedicadas al cumplimiento de la ley. Además, la calidad y superioridad tecnológica de los productos de la empresa han sido los factores generadores de su creciente penetración en el mercado.

UNA FÁBRICA ENFOCADA A LOS PROCESOS: R. R. DONNELLEY & SONS, WILLARD, OHIO

R. R. Donnelley & Sons es el impresor de libros más grande del mundo. Una de sus plantas está localizada en Willard, Ohio, en el centro norte rural de Ohio, aproximadamente equidistante de Columbus, Cleveland y Toledo. La planta de Willard ha estado en operación durante cerca de 35 años y aprovecha el ser vecina de la línea principal de Baltimore & Ohio Railroad y cerca de una fuerza de trabajo local abundante. R. R. Donnelley contrata con las empresas editoriales la impresión de libros de pasta dura, de pasta blanda y de documentación para software. Hay muchos competidores tanto domésticos como del extranjero, y la estrategia de negocio de R. R. Donnelley es entregar la producción a la medida de libros con una calidad superior, entregas a tiempo, precios competitivos y flexibilidad de manufactura.

La calidad superior se logra de muchas maneras. Primero, la gerencia superior ha creado un entorno en el cual la actitud es "cerca no es lo suficientemente bueno". Un departamento independiente de control de calidad supervisa el programa general de calidad en la planta; se cumplen estrictas especificaciones de materiales en todos los materiales comprados, equipos de empleados estudian y encuentran soluciones para problemas de producción relacionados con la calidad a todo lo largo del proceso de producción. En todos los pasos de procesos de producción se aplica a los productos normas extremadamente elevadas de calidad y los empleados están conscientes de que deben ver que cada producto cumpla con los estándares. Los empleados parecen estar sinceramente dedicados al programa de control de calidad de la empresa.

La fábrica tiene más de un millón de pies cuadrados de espacio de planta y emplea más de mil 400 trabajadores. En la búsqueda de cumplir con las metas de brindar entregas a tiempo a precios competitivos, los pedidos de los clientes para sus libros se planean cuidadosamente, se producen, se embarcan y se controlan como lotes o tareas individuales. Por ejemplo, si South-Western College Publishing colocara un pedido por cinco mil ejemplares del libro *Production & Operations Management* de Gaither y Frazier, la totalidad del pedido normalmente se produciría como un solo lote fluyendo de un departamento a otro, a través de la planta. Esta organización a menudo se conoce como un **taller de tareas**, porque los pedidos de los clientes son tratados como tareas que fluyen a través de la fábrica y las tareas se convierten en el foco de la planeación y el control de la producción.

Dado que existe una enorme diversidad entre las tareas que deben producirse en la planta, se requiere de gran flexibilidad en la manufactura, lo que significa que en cualquier departamento de producción, los empleados, la maquinaria y los materiales deben tener suficiente flexibilidad para que se pueda cambiar con rapidez de una tarea a otra. La flexibilidad de los empleados se aumenta mediante la capacitación cruzada entre varios puestos, la capacitación en los aspectos técnicos de las tareas y premiando la iniciativa de los empleados. Las máquinas de producción deben estar diseñadas de manera que sean máquinas de uso general que puedan ser rápidamente cambiadas a otras tareas para hacer frente a la gran diversidad de los productos. Dado que la miriada de materiales necesarios para producir la enorme variedad de tareas deben hacerse pedidos en grandes cantidades de proveedores lejanos que requieren de hasta tres meses de plazo de entrega, se almacenan grandes cantidades de materiales hasta que se hacen necesarios.

La planta es igual a todos los demás talleres de tareas por lo que se refiere a que toda la producción se planea y controla basándose en las tareas de los clientes. En un aspecto, sin embargo, la empresa es fuera de lo normal en comparación con otros talleres de tareas: todas las tareas siguen el mismo camino básico a través de los departamentos de producción, preparación de placas, impresión, cortado y colacionado, y encuadernado. En la mayoría de los talleres de tareas, los tra-

FIGURA 4.18 FLUJO DE LAS TAREAS DE IMPRESIÓN EN R. R. DONNELLEY & SONS

bajos siguen una gran diversidad de rutas a través de los departamentos de producción al grado que para un observador no entrenado, las trayectorias parecerían al azar. Existen sin embargo, algunas diferencias entre las rutas de las tareas, ya que éstas pueden ser asignadas a diferentes centros de trabajo y a distintas máquinas individuales dentro de los departamentos de producción.

Los procesos de producción en la planta se ilustran en la figura 4.18. Los pasos de producción principales son: 1) recepción, 2) preparación de placas, 3) pruebas de placas, 4) impresión, 5) secado, 6) corte y colacionado, 7) encuadernación y 8) embarque.

Recepción Los materiales que se reciben en la planta vienen de proveedores que pueden estar tan cerca como la región de Ohio o tan alejados como Seattle. Estas materias primas son papel en rollo y tintas, así como suministros para mantenimiento, producción y oficinas. El material más pesado y con mayor necesidad de almacenamiento es, sin embargo, el papel, que viene en grandes rollos muy pesados. La fábrica utiliza 200 millones de libras de papel todos los años, y recibe cientos de clases de papel de más de 25 fábricas. Trate de imaginar la cantidad de espacio de almacén que se necesitaría para guardar estos volúmenes. Cada uno de los materiales debe verificarse al ser recibido por el personal de control de calidad, para determinar si cumple con las especificaciones y estándares de calidad establecidos. Sólo después de que los materiales hayan pasado estas inspecciones, se pueden colocar en el almacén y liberar para su uso.

Preparación de placas Esta operación prepara las placas que se utilizan en las prensas para imprimir los libros. Estas placas se elaboran mediante un proceso fotográfico en el que la imagen fotográfica de una página original suministrada por el editor, se transfiere a "una placa", que es una lámina de metal con letras realzadas de tal manera que cuando se aplica tinta a las letras y se presiona sobre papel, la página pretendida del libro se imprime en el papel. El equipo que se utiliza en este proceso está manejado por computadora para un mejor control de calidad. En este paso de

producción se requiere de personal muy especializado, y a pesar de la computarización del equipo, la preparación de placas sigue siendo muy intensiva en mano de obra.

Pruebas de placas Esta operación implica verificar que las imágenes formadas sobre las placas son duplicados exactos de las páginas originales proporcionadas por el editor. Las páginas originales contienen texto, dibujos de línea, tablas, fotografías, ecuaciones matemáticas y todo tipo de material que hoy día se ve en los libros. Las pruebas de placas de este tipo de material es muy preciso y comúnmente se utilizan microscopios para inspeccionar y comparar las placas con los originales. Por consiguiente también emplea gran cantidad de mano de obra y requiere de empleados dedicados a los estándares más elevados de la calidad del producto.

Impresión y secado Dependiendo de su tamaño, una tarea se encamina a uno de tres diferentes tipos de prensas: una impresora grande, una más pequeña automatizada y una de hojas sueltas. Estas máquinas incorporan la última tecnología de impresión, con un monitoreo continuo por computadora del papel, el manejo automatizado de los rollos de papel, escáners ópticos y control por computadora de los ajustes de la máquina. Al hacer pasar hojas de papel a través de las impresoras de un ancho de hasta 3 metros a velocidades de casi 500 metros por minuto, se obtienen velocidades enormes de producción de páginas impresas. El papel en rollo impreso se pasa a continuación a través de una serie de rodillos calentados y enfriados hasta que se seca. El equipo de secado requiere gran cantidad de espacio de piso y vertical. Este paso de producción, en vez de ser intensivo en mano de obra, utiliza de manera intensiva el capital.

Corte y colacionado El corte implica refinar las hojas de rollos de papel impreso en hojas del tamaño de páginas. Se utilizan grandes máquinas cizalladoras para hender las pilas de hojas en hojas sucesivamente más pequeñas. Una vez hecho el corte, las páginas se ordenan en secuencia y se pegan en pequeños paquetes de 16 hojas de 32 páginas, que se conocen como *signaturas*. Las signaturas se exponen brevemente a una llama abierta para eliminar cualquier partícula de papel de desecho y los juegos de signaturas correspondientes a cada libro se reúnen para su encuadernación.

Encuadernación Los libros de pasta dura se ensamblan en un proceso por separado. Las portadas traseras y delanteras se imprimen sobre una hoja, se pegan a un respaldo de cartón y se doblan para que ajusten. Las pastas blandas se imprimen directamente sobre el papel de las cubiertas. En la encuadernación, se utilizan prensas para envolver las cubiertas alrededor de los paquetes de signaturas pre-cementados para formar los libros terminados.

Embarque Los libros terminados se colocan en cajas y después en tarimas o directamente sobre tarimas. Las tarimas son bastidores de madera, papel, plástico o fibra de vidrio sobre las cuales se apilan los productos. A continuación, cada tarima y su carga se envuelve en plástico autoadherible para formar una unidad de carga. Las tarimas con libros se transporta con montacargas del departamento de embarques a los autotransportes o a los carros de ferrocarril para su embarque a los almacenes regionales de los editores.

La estrategia de R. R. Donnelley es dar a sus clientes una calidad de producto superior, entregas a tiempo y precios competitivos. El diseño, disposición física y operación de su planta en Willard, Ohio, parecería bien adaptada para entregar estas características competitivas distintivas.

Una operación de servicio: centro regional de distribución de Wal-Mart, New Braunfels, Texas

Wal-Mart Stores es una cadena de tiendas de descuento que opera en todo Estados Unidos, con oficinas centrales en Bentonville, Arkansas. Las tiendas ofrecen artículos para consumo familiar, con una amplia gama de mercancías, incluyendo electrónica, juguetes, telas suministros para artesanías, refacciones automotrices, equipo para jardinería, artículos deportivos, joyería y zapatos. La filosofía de mercadeo declarada por Wal-Mart es ofrecer mercancía de marca y de calidad a precios bajos todos los días, no solamente durante baratas.

La primera tienda Wal-Mart se abrió en Rogers, Arkansas, en 1962 por Sam y Bud Walton. Sus acciones fueron operadas por primera vez en el New York Stock Exchange en 1972. Hoy, Wal-

Mart posee alrededor de dos mil tiendas al menudeo en Estados Unidos, más de 35 centros de distribución regionales, más de 700 mil empleados (o *asociados*, como Wal-Mart los llama), una de las flotillas privadas más grandes de autotransportes de Estados Unidos, más de 100 mil proveedores estadounidenses, y ventas anuales superiores a los 100 mil millones de dólares.[6]

Wal-Mart utiliza centros de distribución regionales para recibir los embarques de mercancía de sus proveedores, recibir pedidos de mercancía de sus tiendas, surtir los pedidos para las tiendas y embarcarlos a las mismas. El centro de distribución regional de New Braunfels, Texas, se construyó en 1968 y actualmente da servicio a tiendas dispersas en todo el centro y sur de Texas. Después de alcanzar a su capacidad, se esperaba daría servicio a aproximadamente 180 tiendas y emplearía a casi 800 asociados.

Es difícil imaginar el tamaño de estas instalaciones sólo de leerlas en una descripción como ésta, pero tome en consideración estos hechos:

- Las instalaciones tienen más de 93 mil metros cuadrados de espacio de planta bajo un solo techo. Esto es aproximadamente el equivalente a 23 campos de futbol, es decir, más de 11 hectáreas de espacio horizontal.
- Las instalaciones disponen de 96 puertas de carga y descarga de tráilers.
- Las instalaciones tienen nueve kilómetros de bandas transportadoras para mover mercancías de los autotransportes de llegada, hacia y desde el almacén, y a los autotransportes de salida.
- Las instalaciones tienen 70.1 kilómetros de estanterías y 83 mil 980 distintas ubicaciones de almacén, es decir, posiciones de estantería dentro del almacén, donde se puede almacenar mercancía. Las estanterías vacías pesan 1.6 millones de kilos.
- El lugar contiene más de mil 200 cajones de estacionamiento para autotransportes con trailer, 110 cajones para camiones y 700 para los asociados.

Las instalaciones están organizadas de acuerdo con funciones como aseguramiento de la calidad, mantenimiento, tráfico, distribución, prevención de pérdidas, procesamiento de datos y personal. El aseguramiento de la calidad es motivo de gran énfasis en el centro. Su propósito principal es asegurarse de que se haya recibido la cantidad y el tipo correctos de mercancías, de que ésta no ha sido dañada durante su traslado y que la cantidad y tipos correctos de mercancías se han embarcado a las tiendas. El departamento de tráfico se preocupa principalmente de la programación y coordinación de los autotransportes comerciales de llegada provenientes de los proveedores; el departamento de distribución de ocupa de la programación y coordinación de los camiones propiedad de la empresa de salida hacia las tiendas; el departamento de prevención de pérdidas es responsable de la seguridad y bienestar.

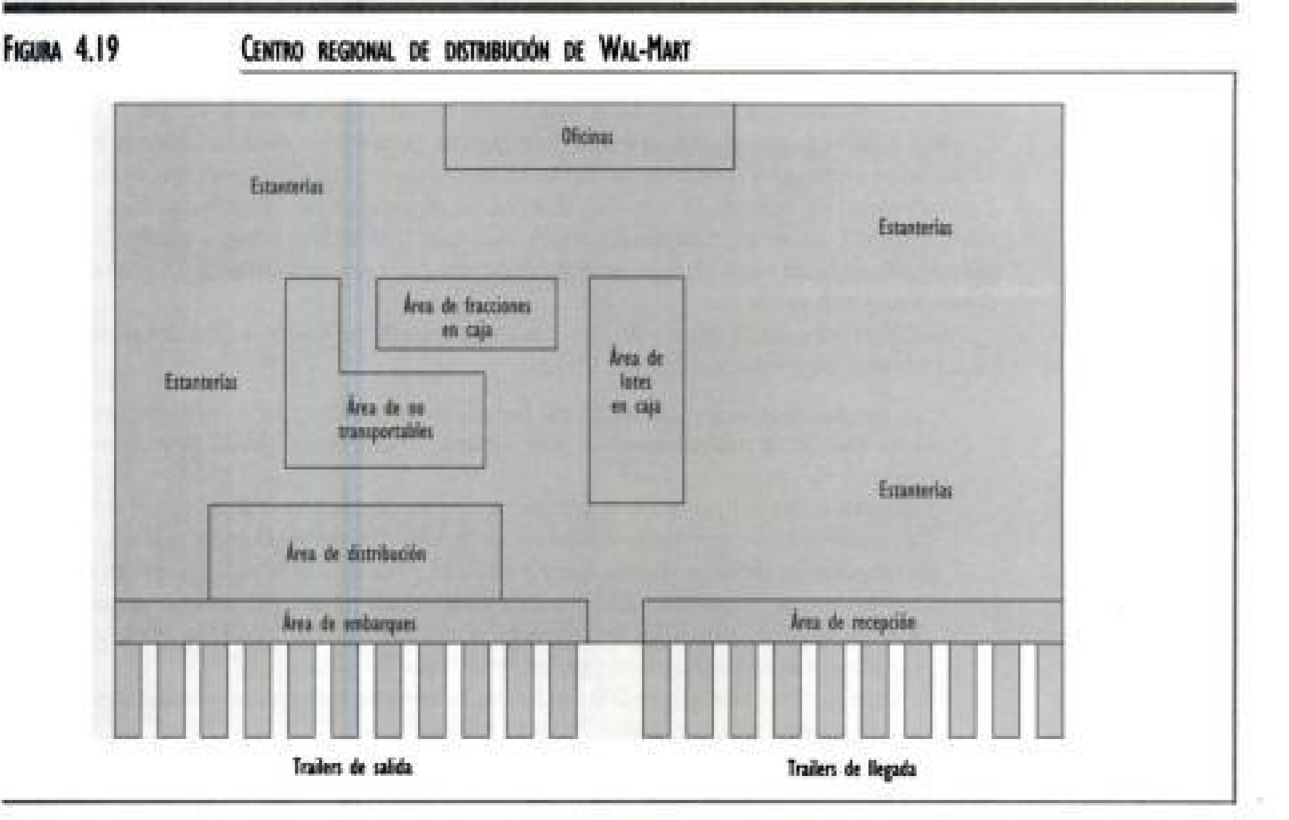
La figura 4.19 ilustra la disposición física general del centro. Las siguientes operaciones de las instalaciones se analizarán a continuación: pedidos de las tiendas, mercancías de llegada, surtido de los pedidos, sistema de bandas transportadoras/clasificadoras y mercancía de salida.

Pedidos de las tiendas Cada tienda Wal-Mart tiene una conexión directa de computadora con las oficinas centrales en Bentonville, Arkansas. Al final de cada día laborable, los asociados de cada tienda envían una lista de pedidos por mercancías sobre una terminal de computadora a Bentonville. El sistema de cómputo en las oficinas centrales desglosa la lista de pedidos y los asigna a los centros de distribución regionales. Aunque la mayoría de las mercancías serán embarcadas del centro de distribución regional más cercano, ciertos bienes especializados se almacenan únicamente en unos cuantos de los centros. Un sistema de cómputo en cada uno de los centros de distribución regional recibe los pedidos la mañana siguiente e imprime las etiquetas para los pedidos.

Las etiquetas juegan un papel vital en la operación del centro. Cada paquete de mercancías que se va a embarcar a una tienda deberá tener adherida una etiqueta impresa. Estas etiquetas son en forma de código de barras, para que puedan leerse por lectores ópticos, y en forma impresa, para que puedan ser leídas fácilmente por los asociados. Una etiqueta representa la autorización de embarque de la mercancía y contiene toda la información relacionada con el pedido: destino de la tienda, nombre de la mercancía, cantidad, nombre del proveedor y ubicación o posición en el almacén.

Mercancía de llegada El departamento de compras en las oficinas centrales de Bentonville, adquiere mercancías de los proveedores con base en contratos a largo plazo. El departamento de com-

FIGURA 4.19 CENTRO REGIONAL DE DISTRIBUCIÓN DE WAL-MART



pras mantiene informados a los departamentos de tráfico de los centros de distribución regionales sobre qué proveedor suministrará cada tipo de mercancía. Prácticamente todas las mercancías se fabrican en Estados Unidos y provienen literalmente de todas las regiones del país. Conforme las mercancías se embarcan desde los centros de distribución regional, los registros de inventarios se revisan perpetuamente de tal manera que el departamento de tráfico pueda saber cuándo se necesitan embarques de cada tipo de mercancías de los proveedores. El departamento de tráfico programa entonces embarques de los proveedores para que lleguen antes de que los centros de distribución regionales se queden sin cada uno de los tipos de mercancías. Quizás de igual importancia es que la mercancía no llegue con demasiada anticipación a los centros de distribución regional, manteniendo así bajos los niveles de inventarios y controlada la inversión en ello.

Surtido de pedidos El surtido de pedidos involucra el uso de las etiquetas impresas para localizar dentro del almacén cada uno de los paquetes de mercancías incluidos en un pedido de tienda, fijar la etiqueta en el paquete y transportarlo al área de embarques. Cada etiqueta a embarcarse cada día se envía a una de las cuatro áreas de la instalación: área de lotes en caja, área de no transportables, área de fracciones de caja o área de distribución.

El área de lotes en caja contiene mercancías que se embarcan en múltiplos de cajas completas. En esta área, los asociados con rollos de etiqueta caminan entre las estanterías de mercancías y una banda transportadora en continuo movimiento. Los asociados leen el número de ubicación de la mercancía sobre la etiqueta, localizan la ubicación, verifican la exactitud de la información de cantidad y tipo de mercancía sobre la etiqueta del pedido, toman la caja de mercancía y la colocan sobre la banda transportadora, adhiriendo la etiqueta sobre el paquete. De ahí los paquetes se transportan al sistema elevado de banda transportadora/clasificadora.

El área de no transportables contiene mercancía que es demasiado pesada, grande o voluminosa para caber en el sistema de banda transportadora/clasificadora. Este tipo de mercancía, por ejemplo costales de 25 kilos de alimento para perros, generalmente se recibe, maneja, almacena y embarca en cargas unificadas. Una carga unificada es un lote de mercancía colocada sobre una tarima (un bastidor de madera cuadrado de 9.2 metros) y que se envuelve en plástico autoadherible

transparente. El surtido de los pedidos de mercancías no transportables se logra adhiriendo una etiqueta sobre la parte superior de la carga unificada y transportando la carga al área de embarques utilizando un montacargas.

El área de empaque fraccionario contiene mercancía que se va a embarcar en cantidades menores de una caja completa. Los asociados cortan la parte superior de las cajas y las colocan en las ubicaciones en las estanterías adyacentes a una banda transportadora en continuo movimiento. Los asociados que surten los pedidos utilizan entonces las etiquetas para localizar la ubicación, verificar la información sobre la etiqueta, colocar la cantidad requerida de mercancía sobre la banda transportadora y adherir la etiqueta a la mercancía. En el otro extremo de la banda transportadora, la mercancía es empaca en cajas y se verifica por control de calidad. Posteriormente, los paquetes se introducen en el sistema de banda transportadora/clasificadora.

El área de distribución contiene mercancía especial que en ese momento está sujeta a promoción nacional. Por ejemplo, mercancía especial que se va a enviar a tiendas para la promoción de las fiestas del Memorial Day se encontrarían en esa área. Los pedidos de tiendas se llenan aquí, y la mercancía pasa al sistema de banda transportadora/clasificadora o al área de embarques por montacargas.

Sistema de banda transportadora/clasificadora El sistema de banda transportadora/clasificadora se utiliza para transportar paquetes desde las áreas de almacenamiento al almacén, para pasarlos al área de embarque y clasificarlos en la nave de carga apropiada. El sistema de banda transportadora/clasificadora es una red de bandas, lectores ópticos y equipo de desvío de paquetes. Los paquetes se transportan desde las áreas de surtido de pedidos en el piso del almacén a un sistema elevado de bandas transportadoras, con una altura aproximada de tres pisos de alto y está justo por debajo del techo del almacén. Aquí los paquetes se voltean de forma que sus etiquetas queden hacia arriba y entonces se dirigen a través de lectores ópticos que leen toda la información de los códigos de barras sobre las etiquetas, envían esta información al sistema de registro de inventarios y envían información al equipo de desvío de paquetes relativa a qué nave de embarque debe llegar cada paquete. El equipo de desvío de paquetes empuja los paquetes, los saca de la banda transportadora principal hacia transportadores secundarios que se dirigen a las naves de carga específicas en el área de embarques.

Mercancía de salida Los paquetes de mercancía salen del sistema de banda transportadora/clasificadora a bandas transportadoras abiertas que se extienden hasta los autotransportes de salida. Los asociados leen cada una de las etiquetas utilizando lectores ópticos manuales para verificar la información de los lectores ópticos del sistema de banda transportadora/clasificadora. Los paquetes del sistema de banda transportadora/clasificadora se colocan a mano en los autotransportes de salida y las cargas unificadas de mercancía no transportable se colocan en los autotransportes utilizando montacargas. Las instalaciones tienen capacidad para embarcar a tiendas, casi 200 camiones totalmente cargados al día.

Esta instalación regional, combinada con el sistema de información computarizado, en las tiendas y en las oficinas centrales de Bentonville, hace entrega de los pedidos a las tiendas en no más de 48 horas una vez colocados los pedidos. El desglose de este tiempo de entrega de 48 horas es como sigue:

1. Los pedidos se transmiten de las tiendas a las oficinas centrales al terminar el día de trabajo.
2. Los pedidos se asignan a los centros de distribución regionales y las etiquetas se imprimen a la mañana siguiente.
3. Los pedidos se surten, se cargan en los autotransportes y se embarcan ese mismo día.
4. Los pedidos se transportan a las tiendas en camiones propiedad de la compañía y llegan a más tardar el día siguiente, dependiendo de la distancia entre la tienda y el centro de distribución regional.

Debido a que las tiendas no tienen bodega, los pedidos de mercancías pasan directamente de los autotransportes a las estanterías en los pisos de exhibición de las tiendas. Este sistema de entrega rápida de mercancía de los centros de distribución regional permite a las tiendas operar sin necesidad de bodega. También, las tiendas pueden esperar hasta que la mercancía de las estanterías se hayan prácticamente agotado antes de pedir, permitiendo así inventarios menores en estantería. Todo esto se traduce en costos menores de operación, mayor productividad y un mejor servicio al cliente.



RECOPILACIÓN:

LO QUE HACEN LOS PRODUCTORES DE CLASE MUNDIAL

Los productores de clase mundial planean y diseñan productos, servicios y procesos de producción de tal manera que los sistemas de producción se puedan utilizar como armas competitivas en la captura de una mayor penetración en los mercados mundiales. Esto requiere que los procesos de producción se planeen y se diseñen con capacidades específicas que coincidan con las prioridades competitivas de sus estrategias de negocio. De manera creciente, los productores estadounidenses ven la calidad del producto y el servicio al cliente como fortalezas cruciales y la flexibilidad y los costos de producción como debilidades importantes en relación con sus competidores. El reto para el futuro es rediseñar los procesos de producción de forma que las fortalezas de la calidad del producto y servicio al cliente se conserven y se mejoren la flexibilidad de la producción y los costos. En esta dirección, los productores de clase mundial están haciendo lo que sigue:

- Introducen los productos más rápidamente en el mercado utilizando ingeniería simultánea, CAD/CAM y equipos autónomos de desarrollo de nuevos productos.
- Diseñan productos para su facilidad de producción y calidad de manera que los sistemas de producción puedan utilizarse como armas para competir en los mercados globales y mejorando los diseños de los productos mediante programas continuos dirigidos a continuas mejoras pequeñas.
- Afinan los esfuerzos de pronóstico de forma que las capacidades de los procesos de producción se ajusten realmente a las necesidades de los mercados.
- Reducen su integración vertical, concentrándose en sus actividades de negocio centrales y reduciendo así su vulnerabilidad frente a competidores más pequeños y especializados, y desarrollando una red de proveedores que sean tratados más como socios que como adversarios.
- Reducen los costos de producción y se hacen más flexibles al adoptar el principio de la *producción esbelta,* utilizando empleados muy capacitados en todas las etapas y adoptando un enfoque muy cuidadoso de todos los detalles de la producción. Este concepto es muy distinto a la producción en masa convencional, que simplifica cada una de las tareas a una rutina automática que se apoya en ejércitos de supervisores para controlar los costos y limitar los defectos.[7]
- Mejoran la flexibilidad reemplazando algunas líneas de producción manuales y la *automatización dura* (maquinaria automática difícil de cambiar para producir otros productos) por *automatización flexible* (máquinas automáticas controladas por computadoras fácilmente programables para otros productos).
- Mejoran la flexibilidad rediseñando los procesos de producción para acelerar el flujo de productos a través de la misma y mediante la reducción de inventarios en proceso.
- Modifican algunos talleres de tareas para incluir algo de manufactura celular para mejorar los costos de producción, la calidad de los productos y acelerar la producción.
- Instalan sistemas de control de la producción computarizados mejorados para planear y controlar mejor los pedidos de los clientes, proporcionando así un mejor servicio al cliente, menores costos y flexibilidad mejorada.

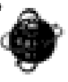


PREGUNTAS DE REPASO Y ANÁLISIS

1. Nombre y describa los pasos en el desarrollo de nuevos productos. ¿Cuáles son las diferencias clave entre un *prototipo* y un *diseño de producción*?
2. Explique tres maneras en que las empresas estadounidenses están acelerando la introducción en el mercado de nuevos productos.
3. Explique el significado de diseñar productos para facilidad de la producción. ¿Por qué es importante?
4. Explique el significado del diseño de productos para la calidad. ¿Por qué es importante?
5. Compare el desarrollo de nuevos productos y el desarrollo de nuevos servicios. ¿En qué se parecen? ¿En qué difieren?
6. Explique lo que quiere decir "evolución de las estrategias de posicionamiento para los productos". ¿Cuál es el significado de este concepto en relación con la estrategia de las operaciones?
7. Analice el papel que tiene el diseño de los procesos en la estrategia de las operaciones.
8. Describa la relación entre diseño del proceso y diseño del producto. ¿Qué es *ingeniería simultánea*? ¿Cuáles son sus ventajas?

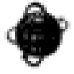
9. ¿Cuáles son los pasos en el diseño de los procesos? ¿Qué insumos se requieren para el diseño de los procesos? ¿Cuáles son los resultados de los diseños de los procesos?
10. Explique la manera en que estos factores afectan las decisiones de diseño de los procesos a) naturaleza de la demanda del producto, b) grado de integración vertical, c) flexibilidad de productos y volúmenes, d) grado de automatización, e) calidad de producto.
11. Explique por qué los sistemas enfocados a los productos a veces se llaman: a) producción continua, b) líneas de producción o de ensamble. Explique la diferencia entre a) manufactura de unidades discretas y manufactura de procesos, b) producción enfocada al proceso y manufactura de procesos.
12. Explique por qué la producción enfocada a los procesos a veces se llama: a) producción intermitente, b) producción de arrancar y parar, c) talleres de tareas.
13. ¿En qué condiciones desearía un gerente formar celdas de manufactura en un taller de tareas? ¿Qué es una *familia de componentes*?
14. Conforme se incrementa el número de diseños de productos y se reduce el tamaño de los lotes, explique lo que le ocurre a: a) costo unitario de producción, b) flexibilidad del producto. Dé algunas razones por las que existe esta relación.
15. Explique brevemente cómo decidiría usted entre dos diseños de proceso diferentes. ¿Qué factores tomaría en consideración? ¿Qué herramientas de análisis utilizaría usted?
16. Exprese las implicaciones importantes del enunciado siguiente: Se dice que los sistemas de producción automatizados tienen un apalancamiento operacional más elevado. Defina el término *apalancamiento operacional*. Explique por qué los sistemas de producción automatizados tienen tendencia a tener niveles más altos de apalancamiento operacional.
17. Describa un diagrama de ensamble y un diagrama de proceso. ¿En qué difieren? Explique de qué manera se utilizan en el diseño de los procesos.
18. Nombre y describa tres clases de procesos de producción para los servicios. Dé un ejemplo de cada clase.
19. ¿Qué pasos se pueden tomar en el diseño de procesos de producción para los servicios que pudieran hacer esta actividad más cuantificable y más objetiva? Analice las dificultades que se podrían encontrar al seguir estos pasos.

TAREAS EN INTERNET





1. Visite una librería en línea en Internet, como **www.amazon.com** y encuentre dos libros cada uno referente a: a) diseño de nuevos productos, b) diseño de servicios, c) ingeniería simultánea, d) reingeniería de procesos de negocios.
2. Busque en Internet un artículo sobre manufactura celular. Resuma brevemente el contenido del artículo.
3. Busque en Internet una empresa que tenga un "taller de tareas" y describa lo que manufactura la empresa. Incluya la dirección Web de la compañía.



4. Visite el sitio Web de Wal-Mart en **www.wal-mart.com.** Busque las dos tiendas más cercanas a la dirección en la que usted vive (quizás necesite incrementar el límite de distancia de la búsqueda de tiendas). Escriba la dirección de las dos tiendas más cercanas.

PROBLEMAS

Diagramas de ensamble

1. Seleccione un producto ensamblado simple que tenga pocas partes, como una engrapadora, un surtidor de diúrex, unas tijeras, un par de lentes o una báscula de correos. Prepare un diagrama de ensamble del producto.
2. Seleccione un producto ensamblado con por lo menos seis componentes. Prepare el diagrama de ensamble.
3. Susan Stemelski, analista de producción para Thermoquick, ha preparado la información siguiente para la producción de un nuevo termómetro digital para exteriores. Prepare un diagrama de ensamble para el producto.

Lista de componentes para el termómetro modelo 245B

Descripción de componente	Código del componente	Código del componente predecesor*	¿Inspección requerida después de la instalación del componente?
1. Base	544	—	N
2. Circuito	520	544	N
3. Arnés del cableado	623	520	S
4. Ensamble de despliegue	715	623	N
5. Carcaza exterior	571	571	S
6. Empaque	475	475	N

*Código del componente que debe preceder inmediatamente a este componente.

4. Ken Chang, analista de producción de SharpEase Company, ha preparado la información siguiente para la producción de un nuevo sacapuntas eléctrico. Prepare un diagrama de ensamble para el producto.

Lista de componentes para el sacapuntas modelo D-41

Descripción del componente	Código del componente	Código del componente predecesor*	¿Inspección requerida después de la instalación del componente?
1. Motor	318	—	N
2. Ensamble de corte	290	318	N
3. Base	256	290	N
4. Carcaza	155	—	N
5. Cable eléctrico	310	155	N
6. Tornillos (3)	199	256, 310	N
7. Patas de hule (4)	175	199	N
8. Charola de virutas	225	175	S
9. Empaque	110	225	N

*Código del componente que debe preceder inmediatamente a esta pieza.

5. Prepare un diagrama de proceso para cepillar sus dientes.

6. Seleccione una actividad con la cual esté familiarizado y que tenga por lo menos seis pasos, por ejemplo: cambiar el aceite de su automóvil, rellenar una engrapadora o encender y acceder a un programa de su computadora personal. Prepare un diagrama de proceso para la actividad.

7. a. Prepare un diagrama de proceso de la información que se da a continuación.
   b. Explique de qué manera un diagrama de proceso de este tipo podría ser utilizado.

Tareas de ensamble para el termómetro modelo 245B

Descripción de la tarea	Distancia recorrida (cm)	Tiempo necesario (min)
1. Obtener la base, orientar en la posición correcta	61	0.08
2. Obtener circuito, fijar a la base	46	0.06
3. Obtener arnés de cableado, conectar a base y a circuito	51	0.17
4. Posicionar la unidad, conectar a prueba de circuito	30	0.10
5. Esperar prueba de circuito, parar si falla la unidad o suena la alarma	—	0.15
6. Obtener ensamble de despliegue y fijar a la base	46	0.06
7. Fijar arnés de cableado al ensamble de despliegue	—	0.05
8. Obtener carcaza exterior, sujetar a la unidad de base	51	0.08
9. Posicionar la unidad, conectar a la prueba final	30	0.10
10. Esperar la prueba final, detener si falla la unidad o suena la alarma	—	0.20
11. Colocar la unidad en empaque, cierre empaque, colocar en tolva	61	0.13

8. a. Prepare un diagrama de procesos para la información que se da a continuación.
   b. Explique de qué manera se podría utilizar este diagrama de proceso.

Tareas de ensamble para el sacapuntas modelo D-41

Descripción de la tarea	Distancia recorrida (cm)	Tiempo necesario (min)
1. Obtener motor y sujetar	51	0.05
2. Obtener ensamble de corte, sujetar a motor	61	0.08
3. Obtener la base, sujetar motor y ensamble de corte a base	61	0.12
4. Obtener carcaza, posicionar correctamente	46	0.05
5. Obtener cable eléctrico, insertar en carcaza	30	0.07
6. Colocar unidad de carcaza al lado de la unidad base, conectar cable eléctrico al motor	15	0.10
7. Sujetar unidad de carcaza a unidad de base utilizando tres tornillos	30	0.25
8. Colocar cuatro patas de hule a la base	38	0.15
9. Obtener charola de virutas, insertar en unidad	51	0.06
10. Posicionar unidad, conectar a prueba eléctrica	30	0.08
11. Esperar prueba, detener si la unidad falla y suena la alarma	—	0.07
12. Colocar la unidad en empaque, cerrar empaque, colocar en tolva	61	0.16

Análisis económico

9. Una empresa está considerando la adquisición de una máquina para utilizarla en la producción de un nuevo producto. El precio de venta del nuevo producto será de 47 dólares por unidad; su demanda anual todavía es muy incierta. Se están tomando en consideración tres máquinas diferentes que podrían producir dicho producto. La máquina A tendría un costo fijo anual de 28 mil 750 dólares y un costo variable unitario de 25 dólares. La máquina B tendría un costo fijo anual de 34 mil 500 dólares y un costo variable unitario de 23 dólares. La máquina C tendría un costo fijo anual de 26 mil 250 dólares y un costo variable unitario de 27 dólares. Calcule la cantidad anual asociada al punto de equilibrio de cada una de las máquinas.

10. Una empresa necesita reemplazar una máquina vieja utilizada para la producción de su producto principal. El precio de venta del producto será de 219 dólares por unidad. Se están tomando en consideración dos máquinas diferentes que podrían producir el producto. La máquina A tendría un costo fijo anual de nueve mil 500 dólares y un costo variable por unidad de 119 dólares. La máquina B tendría un costo fijo anual de siete mil 900 dólares y un costo variable unitario de 128 dólares.
    a. Calcule la cantidad anual del punto de equilibrio para cada una de las máquinas.
    b. Con base en el costo anual, ¿a qué volumen anual le resultaría indiferente a la empresa la adquisición de la máquina A o B?

11. Una empresa está intentando decidir si debe adquirir un componente de un proveedor, producirlo utilizando ensamble manual o producir el componente utilizando un sistema de ensamble automatizado. A continuación aparecen los datos sobre los cuales se tomará la decisión:

	Compra (dólares)	Producción-Ensamble manual	Producción-Ensamble automatizado
Volumen anual del componente	250,000	250,000	250,000
Costo fijo por año	0	750,000	1,250,000
Costo variable por pieza	10.50	8.95	6.40

    a. Con base en estos datos, ¿qué alternativa es la mejor?
    b. ¿A qué volumen anual del componente le resultaría a la empresa indiferente el comprar la pieza o producirla con ensamble automatizado?

c. ¿A qué volumen anual le resultaría a la empresa indiferente producir la pieza con un ensamble manual o automatizado?
d. ¿Qué otras consideraciones tendrían importancia en esta decisión?

12. Joe Bordoli, gerente de oficinas de una gran empresa de contadores, desea adquirir una nueva máquina copiadora. Se están considerando dos marcas de máquinas, Zenon y Matrox. La copiadora Zenon resultaría en un costo fijo anual de dos mil 760 dólares y un costo variable de 0.061 centavos de dólar por copia. La copiadora Matrox tendría un costo fijo anual de cuatro mil 135 dólares y un costo variable de 0.052 centavos de dólar por copia.
    a. Si el señor Bordoli espera que se saquen 125 mil copias al año, ¿qué copiadora deberá adquirirse con base en el costo anual?
    b. Si el señor Bordoli espera que se saquen 165,000 copias al año, ¿qué copiadora deberá adquirirse con base en el costo anual?
    c. Con base en el costo anual, ¿a qué volumen anual de copias le resultaría indiferente al señor Bordoli adquirir la máquina Zenon o Matrox?
    d. ¿Para qué rango de volúmenes anuales de copias se preferiría cada una de las máquinas?
    e. ¿Qué factores diferentes al costo anual deberían tomarse en consideración en la selección de una copiadora?

13. Grey's Manufacturing produce piezas maquinadas para la industria de los astilleros en Boston. Su fábrica es ahora un taller de tareas convencional enfocado al proceso con departamentos organizados alrededor de los tipos de maquinados que las piezas necesitan. Después de un estudio de ingeniería, la gerencia de Grey's está pensando en una propuesta para sacar una familia de componentes del taller de tareas y colocarla en una nueva celda de manufactura. La demanda de esta familia de componentes se mantiene bastante estable de un año al siguiente y los pedidos para estas piezas incluyen lotes de tamaño moderado. El costo de operar el taller de tareas se espera se conservará sin modificación. La decisión se basará en si los componentes en la familia pueden ser manufacturados más económicamente en un taller de tareas o en una manufactura celular.

	Taller de tareas actual	Manufactura celular propuesta
Volumen anual de producción (partes en la familia)	80,000	80,000
Costos fijos anuales	25,000 dólares	220,000 dólares
Costo variable por pieza	10.40 dólares	7.80 dólares

    a. ¿Deberá aceptarse la propuesta de la celda de manufactura?
    b. ¿Cuál será el ahorro anual en costo si se acepta la propuesta?
    c. ¿A qué volumen de piezas resultaría indiferente para la gerencia de Grey's la propuesta?
    d. ¿Qué otras consideraciones podrían afectar la decisión para aceptar la propuesta?

14. Vuelva a ver el problema 12. Ahora Joe Bordoli desea considerar una copiadora Cantrell además de las copiadoras Zenon y Matrox. La copiadora Cantrell le daría un costo anual de cuatro mil 865 dólares y un costo variable de 0.043 centavos de dólar por copia.
    a. Si espera el señor Bordoli que se saquen 125 mil al año, ¿qué copiadora deberá adquirirse con base en el costo anual?
    b. Si el señor Bordoli espera que se saquen 165 mil al año, ¿qué copiadora deberá adquirirse en base al costo anual?
    c. En base al costo anual, ¿a qué volúmenes anuales de copias le resultaría indiferente al señor Bordoli las alternativas Zenon contra Matrox, entre Matrox contra Cantrell y entre Zenon contra Cantrell?
    d. ¿Para qué rango de volumen anual de copias se preferiría cada una de las máquinas?
    e. ¿Qué factores distintos al costo anual deberían considerarse en la selección de una copiadora?

15. Una ciudad está pensando en modificar la manera en que factura a los clientes el uso de

la electricidad. En vez de facturarles con base en lecturas mensuales del medidor, la nueva propuesta les facturaría una tasa fija mensual de 300 dólares. Sin la tasa fija, el costo mensual de los clientes de servicio es de una distribución normal, con una media de 270 dólares y una desviación estándar de 40 dólares.

a. ¿Cuál es la probabilidad que los clientes paguen más que la tasa fija?
b. ¿Cuál es la utilidad mensual esperada por cliente de esta propuesta?

16. Un fabricante de muebles adquiere un producto de un proveedor y lo almacena para su reventa a sus clientes. El contrato de suministro entre el fabricante y el proveedor estipula lo siguiente:

Año	Cantidad de productos por año	Precio/Producto (dólares)	Cargos por herramientas (dólares)
1	1,000	350	10,000
2	1,500	375	20,000
3	2,500	395	30,000
4	3,500	420	35,000
5	4,500	450	50,000

El proveedor ha informado a la empresa que ya no podrá cumplir con su anterior acuerdo de suministro más allá del primer año. El fabricante cree que se puede obtener otro proveedor para cumplir el resto del contrato, pero también desea considerar fabricar el producto en casa y ha desarrollado dos planes para la producción del producto en casa, un proceso automatizado y uno convencional. Los dos planes tienen los costos siguientes:

	Proceso automatizado			Proceso convencional		
Año	Primer costo (dólares)	Cargos de herramental (dólares)	Costo/Unidad (dólares)	Primer costo (dólares)	Cargos de herramental (dólares)	Costo/Unidad
2	1,000,000	20,000	125	250,000	30,000	275
3		30,000	145		40,000	290
4		35,000	150		45,000	310
5		50,000	200		60,000	360

Suponga que número de productos por año será el mismo que el proyectado en el contrato de suministro anterior.

a. Dibuje un diagrama de barras vertical mostrando los costos anuales para los años tres al cinco para estas tres alternativas: proveedor, automatizada y convencional. ¿Cómo se comparan estas tres alternativas en los costos anuales?
b. Dibuje una gráfica que muestre los costos acumulados para las tres alternativas para los años tres a cinco. ¿Durante qué años el proceso automatizado empezaría a mostrar una ventaja en costo sobre las alternativas de proveedor y de diseño convencional?
c. Si la empresa sigue su recomendación del Inciso b, ¿cuánto dinero se ahorrará sobre lo que se habría pagado al proveedor a lo largo del periodo de cuatro años?

CASOS

COMPUTER PRODUCTS CORPORATION (CPC)

Abe Landers es planeador de la producción en la planta de Austin, Texas de Computer Products Corporation (CPC). Recientemente, ha estado preparándose para su examen de certificación para la American Production and Inventory Control Society (APICS). Una sección del examen requiere que los candidatos que tomen la prueba estén familiarizados con los diagramas de ensamble y de procesos. Abe ha desarrollado dos ejemplos de la planta CPC para ilustrar el uso de estas herramientas de planeación de la producción. Ha reunido la siguiente in-

formación sobre un ensamble de microprocesador que se utiliza en una de las unidades de disco flexible de CPC:

Lista de componentes para el ensamble del microprocesador Z44

Descripción del componente	Código del componente	Código del componente predecesor	¿Inspección requerida después de la instalación del componente?
1. Tarjeta de circuito impreso	pc551	—	No
2. Juego de transistores	t6798	pc551	Sí
3. Juego de chip ROM	i8088	t6798	Sí
4. Juego de chip RAM	j88000	i8088	Sí
5. Empaque	p65	j88000	No

Tareas de ensamble para el ensamble del microprocesador Z44

Descripción de la tarea	Distancia recorrida (cm)	Tiempo necesario (min)
1. Obtener tablero PC, y colocar en dispositivo	35	0.05
2. Insertar juego de transistores en tablero	30	5.69
3. Asentar, doblar y cortar	—	1.55
4. Inspeccionar ensamble	—	2.55
5. Insertar juego ROM	56	3.50
6. Asentar, doblar y cortar	—	1.25
7. Inspeccionar ensamble	—	2.50
8. Insertar juego RAM	51	2.75
9. Asentar, doblar y cortar	—	1.25
10. Inspeccionar ensamble	—	2.25
11. Colocar ensamble en la máquina de soldadura y recuperar	396	6.35
12. Inspeccionar ensamble	—	2.00
13. Colocar ensamble en empaque para transporte y colocarlo en tolva	69	0.50

Tarea

1. Prepare un diagrama de ensamble para el ensamble del microprocesador Z44.
2. Prepare un diagrama de proceso para el ensamble del microprocesador Z44.
3. ¿En qué se pueden utilizar estos diagramas en el diseño de procesos?

INFINITY PRINTING COMPANY

Jenny O'Connell es gerente de producción en Infinity Printing Company, negocio de impresión mediano en el este de Connecticut. Recientemente un número creciente de clientes se ha quejado sobre la calidad de la encuadernación de sus libros. Después de una junta de los principales gerentes de Infinity, la culpa del problema se ubicó en la máquina encuadernadora de la empresa de 30 años. Se tomó la decisión de reemplazar la máquina encuadernadora por otra que deberá durar los 10 años siguientes. Se asignó a Jenny O'Connell la tarea de evaluar diferentes máquinas encuadernadoras y de hacer una recomendación a la gerencia superior sobre cuál adquirir.

Después de un análisis inicial, la señora O'Connell redujo los candidatos a dos máquinas encuadernadoras, un modelo 76-C de Gunderson y un modelo 1203B de Matsunita. Como parte de su evaluación, desea comparar el costo anual de cada máquina. Para la máquina Gunderson, el costo fijo anual sería de 64 mil 550 dólares y el costo variable promedio por libro, de 1.35 dólares. En el caso de la máquina Matsunita, el costo fijo anual sería de 78 mil 750 dólares y el costo variable promedio por libro, de 1.20 dólares. El año pasado Infinity imprimió y encuadernó 81 mil 300 libros, y se espera un incremento anual de 5% para este volumen.

Tarea

1. Pronostique el volumen anual de libros para cada uno de los siguientes 10 años, con base en el crecimiento esperado sobre el volumen del año pasado.

2. Con el volumen esperado sólo del año próximo, ¿qué máquina sería la preferida en base al costo anual?
3. Con el volumen esperado sólo en el año 10, ¿qué máquina sería la preferida?
4. En base al costo anual, ¿a qué volumen anual le resultaría indiferente a la empresa adquirir cualquiera de las máquinas?
5. En cada uno de los diez años, ¿cuál sería la máquina preferida con base en el costo anual?
6. ¿Qué máquina debería recomendar Jenny O'Connell con base únicamente en el costo anual?
7. ¿Qué factores, aparte del costo anual, deberían tomarse en consideración en esta decisión?

AIRSOFT ATHLETIC SHOES COMPANY

Hernández Mendoza es el gerente de producción en Airsoft Athletic Shoes, fabricante de zapatos para correr de alta calidad. El señor Mendoza desearía automatizar el proceso de pegado de las suelas de los zapatos a la parte superior, proceso que actualmente se hace a mano. Cinco empresas ofrecen máquinas automatizadas que realizan este proceso, pero varían en costo inicial y en costo de operación. Debido a la competencia siempre variable en la industria de los zapatos para correr, las ventas de Airsoft varían de una manera importante de un año a otro y son difíciles de pronosticar con precisión.

El señor Mendoza cree que una parte de su análisis de selección de máquinas debe ser evaluar el costo anual de cada una de ellas. La incertidumbre del volumen anual de ventas ha hecho más difícil la comparación de los costos anuales de lo que él esperaba. El señor Mendoza ha decidido que sería de gran utilidad obtener un rango de volúmenes anuales en los cuales cada una de las máquinas resultaría ser la alternativa preferida. El costo fijo anual y el costo variable por zapato de cada una de las máquinas aparece a continuación.

	Costo fijo anual (dólares)	Costo variable/ zapato (dólares)
Máquina A	20,500	0.83
Máquina B	28,200	0.59
Máquina C	21,100	0.85
Máquina D	11,900	0.99
Máquina E	29,600	0.68

Tarea

1. Reorganice la información de costos de máquina en orden creciente de costo fijo anual. ¿Existen algunas máquinas claramente inferiores a cualquier otra? De ser así, elimínelas del análisis posterior.
2. Dibuje una gráfica con el costo anual total en el eje vertical y el volumen o cantidad anual en el horizontal. Trace la línea total de costos de cada una de las máquinas restantes. Para trazar la línea de cada máquina, escoja arbitrariamente dos valores de cantidad anual (por ejemplo, Q = 0 y Q = 70,000) y calcule el costo total de cada una de estas cantidades. Entonces, conecte los dos puntos de su gráfica.
3. ¿Para qué rango de volúmenes anuales resulta cada máquina la alternativa preferida, basándose sólo en el costo anual? (Calcule solamente aquellos puntos de indiferencia que sean necesarios para responder la pregunta.)
4. ¿Qué factores distintos al costo anual deberían tomarse en consideración en la selección de la máquina?

NOTAS FINALES

1. "Firms Dismantle Old Hierarchies as Troubles Grow," *San Antonio Express-News*, 26 de diciembre, 1992, 7C.
2. "Overhaul in Japan," *Business Week*, 21 de diciembre, 1991, 82.
3. Mitrofanov, S. P. *Scientific Principles of Group Technology*, 1958, traducido por E. Harris. England: National Lending Library for Science and Technology, 1966.
4. Frazier, Gregory V., and Mark T. Spriggs. "Achiev-

ing Competitive Advantage through Group Technology." *Business Horizons* (Mayo-Junio 1996): 83–90.
5. Shostack, G. Lynn. "Designing Services that Deliver." *Harvard Business Review* (enero-febrero 1984): 135.
6. **www.wal-mart.com**.
7. Womack, James P., Daniel T. Jones, y Daniel Roos. *Rawson Associates*, 1990, como se describe en "So Long Henry Ford." *Business Week*, 31 de diciembre, 1990, 24.

BIBLIOGRAFÍA SELECCIONADA

Buzzell, Robert O. "Is Vertical Integration Profitable?" *Harvard Business Review* 61 (enero-febrero, 1983): 92–102.

Carr, David K., y Henry J. Johansson. *Best Practices in Reengineering: What Works and What Doesn't in the Reengineering Process*. Nueva York: McGraw-Hill, 1995.

Cox, James F., III, John H. Blackstone, Jr., y Michael S. Spencer, eds. *APICS Dictionary*, 8th ed. Falls Church, VA: APICS—The Educational Society for Resource Management, 1995.

Feitzinger, Edward, y Hau L. Lee. "Mass Customization at Hewlett-Packard: The Power of Postponement." *Harvard Business Review* 75 (enero-febrero, 1997): 116–21.

Frazier, Gregory V., y Mark T. Spriggs. "Achieving Competitive Advantage Through Group Technology." *Business Horizons* 39, no. 3 (mayo-junio, 1996): 83–90.

Gaither, N., Gregory V. Frazier, y Jerry C. Wei. "From Job Shops to Manufacturing Cells." *Production and Inventory Management Journal* 31, no. 4 (Cuarto trimestre, 1990): 33–36.

Gilmore, James H., y B. Joseph Pine II. "The Four Faces of Mass Customization." *Harvard Business Review* 75 (enero-febrero, 1997): 91–101.

Hammer, Michael. *Beyond Reengineering: How the Process-Centered Organization Is Changing Our Work and Our Lives*. New York, HarperCollins, 1997.

Harrigan, K. R. *Strategies for Vertical Integration*. Lexington, MA: Heath, 1983.

Hayes, Robert H., y Steven C. Wheelwright. "Link Manufacturing Process and Product Life Cycles." *Harvard Business Review* 57 (enero-febrero, 1979): 133–140.

Hope, Christine, Alan Muhlemann, y Christine Witt. *Service Operations Management: Strategy, Design and Delivery*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1997.

Hyer, N. L., y U. Wemmerlov. "Group Technology and Productivity." *Harvard Business Review* 62 (julio-agosto, 1984): 140–149.

Kamath, Rajan R., y Jeffrey K. Liker. "A Second Look at Japanese Product Development." *Harvard Business Review* 72 (noviembre-diciembre, 1994): 154–170.

Kumpe, Ted, y Piet T. Bolwijn. "Manufacturing: The New Case for Vertical Integration." *Harvard Business Review* 66 (marzo-abril, 1988): 75–81.

Lampel, Joseph, y Henry Mintzberg. "Customizing Customization." *Sloan Management Review* 38, no. 1 (otoño 1996): 21–30.

Levitt, T. "The Industrialization of Services." *Harvard Business Review* 54 (1976): 41-52.

Levitt, Theodore. "Production Line Approach to Service." *Harvard Business Review* 50 (septiembre-octubre, 1972): 41–52.

Mitrofanov, S. P. *Scientific Principles of Group Technology*, 1958, traducido por E. Harris. England: National Lending Library for Science and Technology, 1966.

Prasad, Biren. *Concurrent Engineering Fundamentals: Integrated Product and Process Organization*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1996.

Ramaswamy, Rohit. *Design and Management of Service Processes: Keeping Customers for Life*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1996.

Shostack, G. Lynn. "How to Design a Service." *European Journal of Marketing* 16, no. 1 (1982): 49–63.

Upton, David M., and Stephen E. Macadam. "Why (and How) to Take a Plant Tour." *Harvard Business Review* 75 (mayo-junio, 1997): 97–106.

CAPÍTULO 5

TECNOLOGÍA DE LA PRODUCCIÓN: *SELECCIÓN Y ADMINISTRACIÓN*

Introducción

Proliferación de la automatización

Tipos de automatización
- *Aditamentos para máquina*
- *Máquinas de control numérico*
- *Robots*
- *Inspección automatizada del control de calidad*
- *Sistemas automáticos de identificación*
- *Controles automatizados de procesos*

Sistemas de producción automatizados
- *Líneas de flujo automatizadas*
- *Sistemas de ensamble automatizados*
- *Sistemas flexibles de manufactura*
- *Sistemas automatizados de almacenamiento y recuperación*

Fábricas del futuro
- *CAD/CAM*
- *Manufactura integrada por computadora*
- *Características de las fábricas del futuro*

Automatización en los servicios

Problemas de automatización
- *¿Producción de alta, media o baja tecnologías?*
- *Incorporación de flexibilidad en la manufactura*
- *Justificación de los proyectos de automatización*
- *Administración del cambio tecnológico*
- *Desplazamiento, capacitación y reentrenamiento de los trabajadores*

Decisión entre alternativas de automatización
- *Análisis económico*
- *Enfoque de la escala de calificación*
- *Enfoque de las calificaciones relativas agregadas*

Recopilación: lo que hacen los productores de clase mundial

Preguntas de repaso y análisis

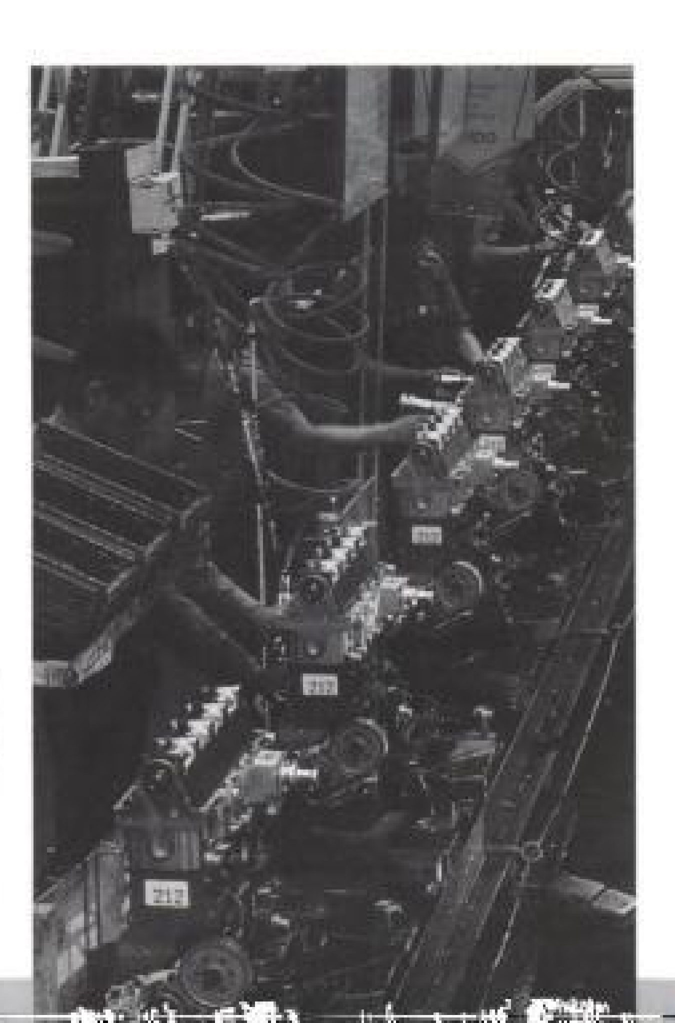
Tareas en Internet

Problemas

Casos
- *Golden Kernal Processing Company I y II*
- *Western Arizona University*

Notas finales

Bibliografía seleccionada



VENTAJAS ESTRATÉGICAS DE LA TECNOLOGÍA

¿Qué tienen en común Intel y Wal-Mart? Que ambas tienen mucho éxito usando la tecnología para mejorar sus operaciones.

Desde hace mucho tiempo, la creación y aplicación de nuevas tecnologías ha sido clave para lograr el éxito económico. Sin embargo, en el mundo actual, los empresarios se encuentran con nuevas presiones ocasionadas por mayores necesidades de recursos para financiar adelantos tecnológicos, así como a la velocidad cada vez más rápida de difusión global de la tecnología. Esto requiere pensar estratégicamente en la tecnología más allá del simple desarrollo de nuevos productos o servicios.[1]

Veamos por ejemplo la industria de los lentes ópticos de alta precisión, que se utilizan en una amplia diversidad de aplicaciones, desde los láser y las fibras ópticas comerciales, hasta en equipo médico y militar. La naturaleza costosa y la mano de obra, que implica la manufactura de lentes de alta precisión, ha dificultado a las empresas estadounidenses que los fabrican competir contra empresas ubicadas en países con bajos costos de mano de obra. Pero, conforme los procesos de manufactura se automatizan más, se hacen cada vez más intensivos en el uso de capital, en lugar de mano de obra, y entonces las empresas de Estados Unidos podrán competir en igualdad de condiciones. A fin de lograr estos objetivos, el Center for Optics Manufacturing en Rochester, Nueva York, consorcio tripartita patrocinado por el gobierno estadounidense, las universidades y la industria, se ha ocupado durante los últimos años de desarrollar formas prácticas y económicas de automatizar la manufactura de los lentes de alta precisión.[2]

El uso de la tecnología para lograr una ventaja estratégica no está limitado a la manufactura. Los adelantos en la tecnología de computación y de la información han permitido, a muchas organizaciones de servicio, aprovecharlos a fin de hacerse más competitivas.

Ciertamente, estos tiempos son emocionantes para el estudio de la administración de las operaciones. Somos optimistas al leer informes sobre el uso de tecnología de punta en el piso del taller de nuestras fábricas y en nuestras operaciones de servicio. Aunque la batalla final para la competitividad deberá librarse en el piso de las fábricas, resulta demasiado fácil despreciar los procesos de producción de las plantas en el impetuoso entorno actual de fusiones multimillonarias, de programas de publicidad por miles de millones de dólares, de acuerdos comerciales internacionales y de enormes movimientos en las tasas de cambio. Sin embargo, será hacia el piso del taller que en este capítulo dirigiremos nuestra atención al explorar los temas importantes de cómo seleccionar y administrar nuevas tecnologías, de forma que los sistemas de producción puedan emplearse como arma competitiva en la captura de los mercados mundiales.

La **tecnología de producción avanzada** *o de* **producción de alta tecnología** *implica la aplicación de los últimos descubrimientos científicos o de ingeniería al diseño de los procesos de producción*. La Instantánea industrial 5.1 describe lo que hace una empresa en búsqueda de nueva tecnología para sus procesos de producción. "Nueva tecnología" puede ser una amplia gama de adelantos tecnológicos, científicos y de ingeniería. Además, nueva tecnología de producción también significa casi siempre que tanto la tecnología de la información como la automatización se han integrado en los procesos de producción.

Hace mucho tiempo, automatización significaba reemplazar el esfuerzo humano por el esfuerzo de máquinas, pero esto ya no es cierto. La tecnología de la producción ha sobrepasado ampliamente esa antigua manera de pensar. Hoy día, **automatización** significa la integración, con fines estratégicos, de un amplio abanico de información avanzada y de descubrimientos de ingeniería de punta en los procesos de producción.

PROLIFERACIÓN DE LA AUTOMATIZACIÓN

Las empresas de Estados Unidos están invirtiendo enormes sumas en proyectos de automatización de fábricas, pero aún así en algunas ramas industriales siguen rezagadas respecto a los fabricantes japoneses. Los fabricantes estadounidenses se tardaron en reconocer la totalidad de los beneficios que se obtendrían con la automatización. Al principio, creían que la principal ventaja que obtendrían era el

INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 5.1

NORTHROP GRUMMAN BUSCA NUEVAS TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN

Northrop Grumman es un fabricante estadounidense de aviones militares. El ensamble de las aeronaves es una operación costosa debido a la gran cantidad de mano de obra y a problemas esporádicos de calidad relacionados con la perforación de millones de barrenos todos los años. Por cada avión se perforan y sujetan manualmente más de 70,000 barrenos en cada uno de los bastidores militares de la Northrop Grumman, lo que representa casi 44% del costo total del ensamble.

El método actual de perforación y abocardado de barrenos para una instalación más rápida utiliza dispositivos de barrenado diferentes para cada ensamble y subensamble procesado, a un costo promedio de 50,000 dólares cada uno. Se requieren en cada programa mucho más de 900 dispositivos convencionales de barrenado para el ensamble del bastidor de la nave. Cada dispositivo de barrenado se construye siguiendo un proceso laborioso. Ocurren variaciones en la calidad de los barrenos perforados, porque cada taladrador controla la velocidad y el avance de la perforación, mientras se hace el barreno utilizando un taladro neumático manual.

Northrop Grumman está muy interesado en encontrar nuevas tecnologías de la producción para modernizar sus operaciones de manufactura, en particular su proceso de taladrado de barrenos. El objetivo de su modernización es identificar oportunidades de automatización para sus líneas de ensamble, que incrementen la flexibilidad y al mismo tiempo reduzcan el costo por mano de obra directa y mejoren la calidad. Además, a fin de incrementar la calidad y eficiencia de los procesos de ensamble, se deberán identificar áreas donde la automatización pueda eliminar la necesidad de muchos de los dispositivos de ensamble y plantillas de barrenado actualmente en uso, reduciendo así tanto los costos de herramental recurrentes como los no recurrentes.

Fuente: Bullen, George N. "The Mechanization/Automation of Major Aircraft Assembly Tools". *Production and Inventory Management Journal* 38, no. 3 (1997): 84–87.

ahorro en costos de mano de obra, por lo que las empresas estadounidenses tendieron a trasladar la producción al exterior, a Taiwán, Corea, México y otros países con salarios de mano de obra más bajos, en vez de invertir en proyectos de automatización en sus propias plantas. La persecución de bajos costos de mano de obra fuera del país dio como resultado transferir tecnologías anticuadas hacia el exterior, encontrarse atado a tasas de cambio desfavorables y el fracaso de las empresas estadounidenses al no hacer avanzar su propia tecnología de la producción. Durante un tiempo, por lo tanto, los fabricantes estadounidenses obtuvieron ahorros a corto plazo en la mano de obra, sacrificando la oportunidad que puede dar la automatización de obtener muchas ventajas de desempeño a largo plazo. Ahora, los proyectos de automatización se inician no sólo debido a ahorros en la mano de obra, sino con la finalidad de tener un producto de mejor calidad, una producción rápida y una entrega pronta de los productos y, cuando utiliza una automatización flexible, mayor flexibilidad en los productos. La Instantánea industrial 5.2 ilustra el impacto causado en Estados Unidos por la adopción de nuevas tecnologías de producción en la productividad de los trabajadores.

En este capítulo analizaremos los tipos de automatización, los sistemas de producción automatizados, las fábricas del futuro, la automatización en los servicios y otros temas sobre automatización.

TIPOS DE AUTOMATIZACIÓN

Los enormes avances en el campo de la automatización industrial han hecho aparecer miles de máquinas automatizadas, con características diversas. Los siguientes tipos de automatización son particularmente importantes: los aditamentos para máquina, las máquinas de control numérico, los robots, la inspección automatizada del control de calidad, los sistemas de identificación automática y los controles automáticos de los procesos. La tabla 5.1 describe estos tipos, con ejemplos de cada uno.

ADITAMENTOS PARA MÁQUINA

Los **aditamentos para máquina** se añaden a las máquinas, son por lo general relativamente económicos, que reducen el esfuerzo humano y el tiempo requerido para realizar una operación. Estos aditamentos representan la tecnología más antigua en automatización y, por lo general, están presentes en todos los sistemas de producción.

INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 5.2

IMPACTO DE LA TECNOLOGÍA DE LA PRODUCCIÓN SOBRE LA PRODUCTIVIDAD

Este último trimestre, los trabajadores estadounidenses alcanzaron el incremento de productividad más elevado en cinco años ya que finalmente pudieron las empresas obtener los beneficios de importantes inversiones en equipo y tecnología. Una razón clave para este incremento súbito: un estallido de 9.8%, el mejor en 15 años, en la productividad de las empresas manufactureras estadounidenses, que representan 18% del volumen total. El incremento súbito es el resultado de los miles de millones de dólares desembolsados modernizando empresas, adquiriendo equipo, actualizando computadoras y adoptando programas de calidad.

Por ejemplo, Bison Gear & Engineering en St. Charles, Illinois, se mudó en mayo a una nueva planta de ocho millones de dólares, elevando desde entonces el volumen de producción en 9% de un año al otro. La mudanza consolidó 175 trabajadores de tres edificios a uno solo, con maquinaria nueva y un sistema telefónico "que hace de todo, menos tostar pan", según manifiesta el CEO de Bison, Ron Bullock.

La productividad en Ball-Foster Glass Container en El Monte, California, se ha elevado 5% desde el año pasado, gracias a equipo nuevo y a un programa para la administración de la calidad total, que "elevó las expectativas para hacerlo mejor que antes" para los 300 trabajadores de la fábrica, según informa el gerente de planta, Rich O'Neil.

El salto en productividad ocurrido en octubre hace que se vuelva a tener esperanza en que los incrementos en productividad alcanzarán otra vez un nivel de crecimiento de 2.5% al año, terminando así una confusa era de 10 años de incrementos de 1% anual en los volúmenes por trabajador por hora.

Fuente: Belton, Beth. "U.S. Workers' Productivity Jumps 4.5%". *USA Today*, 14 de noviembre, 1997, 1B.

TABLA 5.1 **TIPOS DE AUTOMATIZACIÓN**

Tipos de máquinas	Descripción	Ejemplos
Aditamentos para máquina	Máquinas que sustituyen el esfuerzo humano por esfuerzo mecánico y que típicamente llevan a cabo una o unas cuantas labores sencillas.	Aditamentos para alimentación por cargador, dispositivos para centrado y sujeción en tornos, alimentadores de tiras para máquinas troqueladoras, tolvas vibradoras con báscula que dejan caer cargas de productos químicos en recipientes a la espera.
Máquinas de control numérico	Máquinas con sistemas de control que leen instrucciones y las traducen en operaciones de máquina.	Tornos, fresadoras, máquinas para fabricación de llantas, máquinas de curado, tejedoras.
Robots	Manipuladores para uso general, reprogramables, multifunción, que tienen algunas características fisiológicas parecidas a las humanas.	Máquinas que soldan, pintan, ensamblan, inspeccionan la calidad, sujetan, transportan y almacenan.
Inspección automatizada del control de calidad	Máquinas automatizadas que realizan una parte o la totalidad del proceso de inspección de calidad.	Verificaciones de circuitos electrónicos, verificación de funciones dirigidas por computadora, robots pesadores, sistemas flexibles de inspección
Sistemas automáticos de verificación	Tecnologías utilizadas en la adquisición automática de datos del producto para su introducción en computadora.	Sistemas de código de barras, conteo de inventarios, conteo o captura de datos para control en el piso de planta, sistemas para modificar el ajuste de las máquinas de producción.
Controles automatizados de los procesos	Sistemas por computadora que reciben datos de los procesos de producción y envía modificaciones a los ajustes del proceso.	Sistemas de control para máquinas laminadoras en la manufactura de llantas, calandrias en el procesamiento de películas de plástico, unidades de descomposición térmica en refinerías de petróleo.

INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 5.3

UNA DE LAS PRIMERAS MÁQUINAS N/C

Una de las primeras demostraciones de una máquina de control numérico ocurrió en MIT a principios de los años 50. Se trataba de una máquina fresadora Cincinnati vertical que había sido modificada en el laboratorio de servomecanismos de MIT para que operara a partir de información proveniente de una cinta perforada. En esa ocasión, estaba maquinando un aditamento para soporte de ala para un B47. El aditamento se maquinaba partiendo de un bloque sólido de magnesio; el bloque terminado resultaba tan complejo que sólo pesaba 10% del bloque original. El operario sólo oprimía un botón para iniciar el ciclo; la máquina, entonces, efectuaba el ciclo de desbastado, operando en tres planos simultáneamente. Una vez terminado el ciclo, sonaba una campana, para atraer la atención del operario, quien retiraba algunas rebabas y oprimía el botón para el ciclo de corte de acabado, mismo que la máquina terminaba con rapidez. Las únicas operaciones efectuadas por el operario eran colocar la pieza en la máquina, arrancarla, retirar algunas rebabas con el cepillo y quitar la pieza terminada. En esa ocasión, el operario casualmente era estudiante de leyes en Harvard y era la primera máquina herramienta que operaba.

Fuente: Maynard, H. B. *Industrial Engineering Handbook* p. 1/101. Nueva York: McGraw-Hill, 1963.

MÁQUINAS DE CONTROL NUMÉRICO

Al desarrollarse una amplia gama de aplicaciones para este importante logro tecnológico, las **máquinas de control numérico (N/C,** por sus siglas en inglés) se convirtieron en el periodo 1950-1980 en las heroínas de las máquinas automáticas. Estos aparatos se programan mediante una cinta magnética o computadoras, para realizar repetidamente un ciclo de operaciones. Las máquinas tienen un sistema de control que lee las instrucciones y las traduce en operaciones; sus ajustes los efectúa el sistema de control, en lugar de seres humanos. La Instantánea industrial 5.3 describe uno de los primeros experimentos con máquinas N/C.

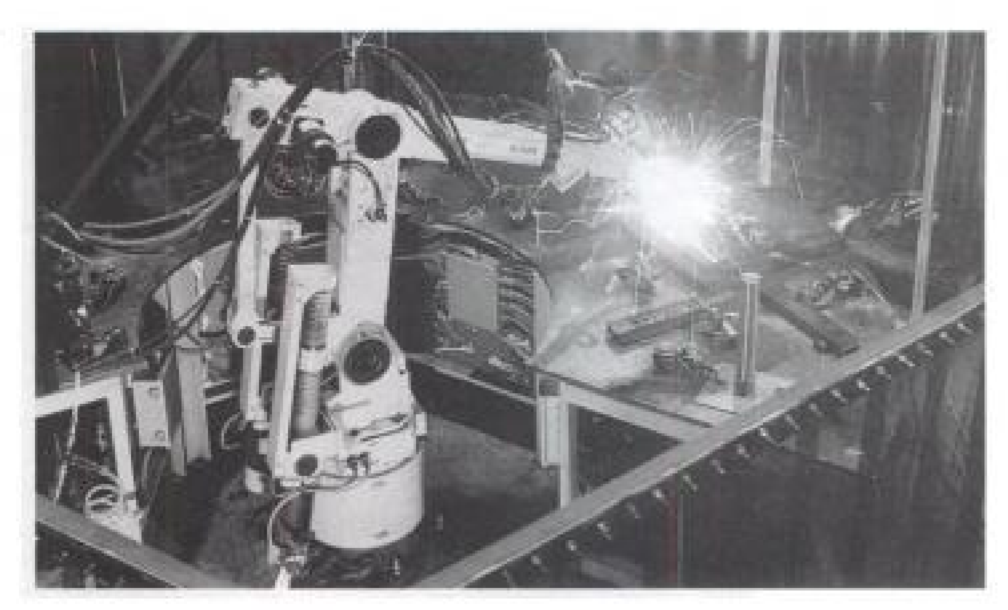
Con el paso de los años, las máquinas N/C han evolucionado; las primeras utilizaban cintas de papel con perforaciones, mismas que representaban las instrucciones de máquina. Posteriormente, algunas máquinas N/C incorporaron el cambio automático de herramientas. Junto con los adelantos en computación, llegaron las máquinas de control numérico por computadora (CN/C). Conforme se siguió incrementando la complejidad de la computación, se desarrollaron máquinas de control numérico directo (DN/C), que colocaban varias máquinas bajo el control de una sola computadora.

Las máquinas N/C son máquinas automatizadas importantes por derecho propio. Cuando sus programas se han desarrollado eficientemente y sus herramientas se han diseñado con eficacia, tienen gran flexibilidad para que se destinen a la fabricación de otros productos, por lo que se utilizan extensivamente en talleres de tareas, enfocados a los procesos. También, las máquinas de control numérico representan una etapa evolutiva importante en el avance hacia lo último en máquinas automatizadas, es decir, los robots.

ROBOTS

Joseph Engleberger, proclamado internacionalmente padre de la robótica industrial, desarrolló el primer robot para uso industrial. Lo instaló en 1959 para descargar una máquina de fundición por inyección en una planta de General Motors.[3] Hoy día, la **robótica** es un campo en rápido desarrollo, en el que máquinas de tipo humano ejecutan tareas de producción. El Robotic Institute of America define un robot industrial como: *un manipulador reprogramable, multifuncional, diseñado para mover materiales, piezas, herramientas o dispositivos especializados a través de movimientos variables programados para desempeñar diversas tareas.* El cerebro de estas máquinas es una

Los robots puede operar en condiciones desfavorables para los seres humanos, como en situaciones de calor, ruido u oscuridad extremas.



microcomputadora que, una vez programada, guía a la máquina a través de sus operaciones determinadas. Conforme aumenta la cantidad de robots se reduce su precio, por lo que estos dispositivos seguramente se harán más comunes.

Es impresionante la diversidad de robots que ofrecen los proveedores actuales, y los tipos de cosas que pueden hacer son realmente asombrosas. Los robots pueden mover sus brazos alrededor de ejes verticales, radiales y horizontales, y sujetar herramientas como pistolas para soldadura de punto, herramientas de soldadura de arco, pistolas de pintura, husillos giratorios para máquinas de corte de metal, desarmadores, sopletes, calentadores y herramientas de corte impulsadas por chorro de agua.

Los robots tienen sujetadores en el extremo de sus brazos que son dispositivos de vacío, magnéticos o adhesivos; también tienen sensores que hacen que los sujetadores y los brazos puedan colocarse en posiciones precisas durante el desempeño de su trabajo. A continuación, se dan los tipos más comunes de sensores:

1. **Sensores táctiles**, que son de dos tipos: de *tacto* y de *fuerza*. Los sensores de tacto indican si se ha hecho contacto. Los sensores de fuerza indican la amplitud de la fuerza de contacto con el objeto.
2. **Sensores de proximidad**, que indican cuando un objeto está cerca del sensor.
3. **Sensores para visión de máquina y sensores ópticos**. Los *sensores de visión de máquina* se emplean en la inspección, identificación de las piezas, para guía y otros usos. Los *sensores ópticos* se utilizan para la detección de la presencia de objetos.

Los robots pueden operar en entornos hostiles para los seres humanos. El calor, el ruido, el polvo, los irritantes de la piel, la oscuridad y otras situaciones no son una amenaza para ellos. También, en muchas aplicaciones, los robots pueden producir productos con una calidad más elevada de lo que es posible con seres humanos, ya que son más predecibles y efectúan las mismas operaciones precisa y repetidamente, sin fatiga.

Cada vez es más fácil programar robots para que puedan hacen otras tareas. Algunos de ellos pueden, incluso, reprogramarse simplemente fijando un punzón o estilo entre el brazo del robot y el brazo de un operario experimentado; el operario físicamente hace que al robot se mueva ejecutando las nuevas operaciones, programando así la máquina. Más típicamente, sin embargo, el programa se almacena en un disco, o en algún otro medio magnético. Este arreglo permite que se reprograme el robot simplemente insertando el disco o tarjeta en una ranura y poniendo el robot en "modo de ejecución". Esta capacidad de fácil programación y reprogramación da gran flexibilidad para pasar a otros productos o tareas. Los robots son los bloques constructivos básicos para los sistemas de producción automatizados que analizaremos posteriormente.

Inspección automatizada del control de calidad

Los **sistemas de inspección automatizada del control de calidad** son máquinas que se han integrado a la inspección de productos con fines de control de calidad. Estos sistemas efectúan una amplia gama de pruebas e inspecciones y se usan en muchas industrias. Se pueden emplear para medir las piezas, comparar las mediciones con las normas y determinar si las piezas cumplen con las especificaciones de calidad. De manera similar, se pueden utilizar esas máquinas para verificar el desempeño de los circuitos electrónicos. Por ejemplo, las computadoras, se verifican con software que comprueba cada una de las funciones que deben efectuarse.

Como analizaremos adicionalmente en el capítulo 18, Control de calidad, conforme más máquinas automatizadas ejecutan las inspecciones de control de calidad, para muchos productos, la inspección al 100% se está volviendo económicamente factible. Esta tendencia debe llevar a una mejor calidad del producto y a costos menores de inspección por control de calidad.

Sistemas automáticos de identificación

Los **sistemas automáticos de identificación (AIS,** por sus siglas en inglés) utilizan códigos de barras, frecuencias de radio, tiras magnéticas, reconocimiento óptico de caracteres y visión de máquina para detectar e introducir datos en las computadoras. Los datos que aparecen sobre los productos, documentos, piezas y recipientes se leen sin necesidad de que los trabajadores los lean o interpreten. Un buen ejemplo de estos sistemas aparece en las cajas de los supermercados. El cajero pasa el código de barras que aparece sobre un producto frente al lector óptico; el sistema lee el número de identificación, accesa una base de datos en la computadora, envía el precio del producto a la caja registradora, describe el producto para el cliente a través de un altoparlante e incluye el número de identificación del producto en el sistema de inventarios para ajustar el nivel del mismo.

AIS se está haciendo común en almacenes, pisos de taller de fábricas, ventas al menudeo y al mayoreo, y en una diversidad de otras aplicaciones. Aunque el costo del herramental AIS no es elevado, sí lo es el costo de desarrollar el software y las bases de datos de cómputo, elementos indispensables para que los AIS resulten efectivos.

Controles automatizados de procesos

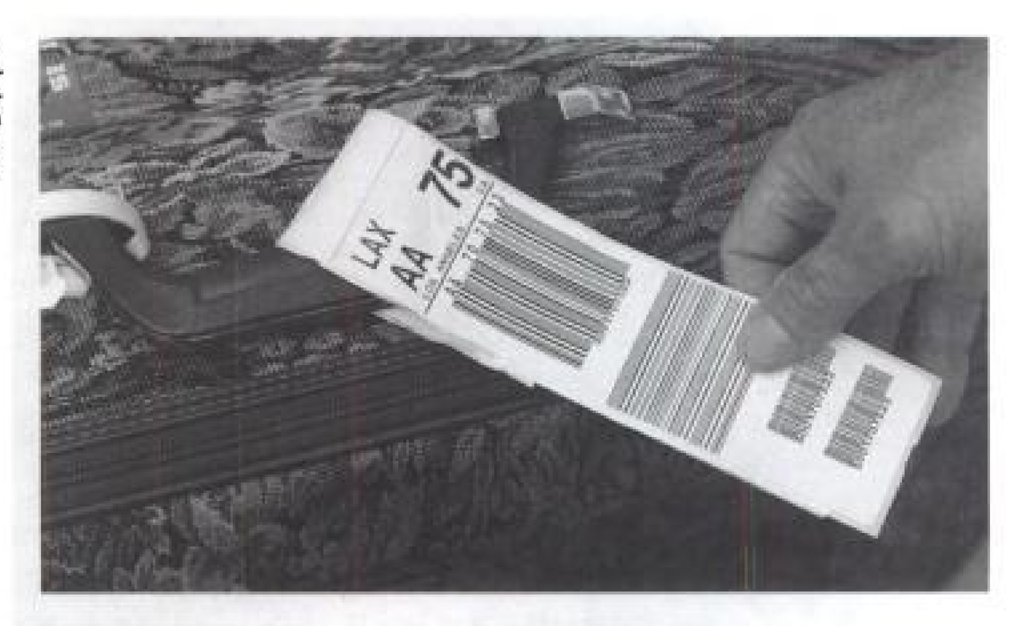
Los **controles automatizados de procesos** utilizan sensores para obtener mediciones del desempeño de los procesos industriales, comparan estas mediciones con los valores estándar incluidos en los programas de la computadora y, cuando el desempeño varía de forma significativa en relación con el estándar, envían señales que modifican los ajustes de los procesos. Estos sistemas han estado en uso durante muchos años en las industrias de procesamiento de productos químicos, en las refinerías de petróleo y en la industria papelera.

Un ejemplo de estos controles automatizados se vio recientemente en la industria papelera. Una calandria grande comprime la pulpa de madera entre rodillos para formar una hoja de papel continua. Un lector óptico grande se monta por encima de la hoja de papel para monitorear el espesor y la densidad del papel. Las lecturas del lector alimentan el sistema experto de una computadora, que consiste en un algoritmo lógico basado en reglas. Este sistema experto decide si el espesor y densidad del papel están dentro de la tolerancia; de no estarlo, el sistema decide qué cambios efectuar y envía ajustes de máquina a la calandria, alterando así el espesor y densidad del papel.

Con el creciente uso del diseño asistido por computadora y de los sistemas de manufactura asistidos por computadora (CAD/CAM), los controles automatizados de procesos se han convertido también en importantes en otras industrias. Incluso en la manufactura de unidades discretas, ahora los ajustes de cada máquina individual y de grupos de máquinas pueden detectarse y modificarse según se requiera para obtener productos con dimensiones y características uniformes.

Igual que con otras máquinas automatizadas, cuando se instalan controles automatizados de los procesos se pierde algo de flexibilidad en tanto no se desarrolle software para atender las características de diferentes productos. También, a pesar de que el costo inicial de herramental de estos sistemas pudiera no ser muy elevado, puede ser muy costoso desarrollar el software de soporte e integrar el subsistema con el resto del sistema de producción. Sin embargo, la calidad

El código de barras es uno de los sistemas de identificación automática más populares entre los detallistas para reducir el error humano de captura y ayudar a registrar la mercancía.



requerida del producto para apoyar una estrategia de negocio pudiera hacer que dichos costos fueran aceptables.

Las máquinas automatizadas que se han descrito en esta sección son impresionantes, pero los beneficios últimos de una automatización pudieran no lograrse en tanto las máquinas individuales no queden integradas en sistemas completos de producción automatizados.

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AUTOMATIZADOS

Al irse haciendo más compleja la tecnología de la automatización, se ha desplazado el enfoque de las máquinas individuales hacia una idea más amplia. Hoy son cada vez más comunes sistemas completos de máquinas automatizadas vinculadas entre sí para propósitos más amplios. Analizaremos cuatro categorías generales de estos sistemas: líneas de flujo automatizadas, sistemas de ensamble automatizados, sistemas flexibles de manufactura (FMS) y sistemas automatizados de almacenamiento y recuperación (ASRS).

LÍNEAS DE FLUJO AUTOMATIZADAS

Una **línea de flujo automatizada** incluye varias máquinas automatizadas, vinculadas entre sí mediante máquinas automatizadas de transferencia y manejo de piezas. Las máquinas individuales en la línea utilizan alimentadores automatizados de materias primas y efectúan sus operaciones automáticamente, sin necesidad de atención humana. Conforme cada una de las máquinas termina su operación, se transfieren de forma automática piezas parcialmente terminadas a la siguiente máquina sobre la línea, siguiendo una secuencia fija, hasta que el trabajo en línea termina. Estos sistemas normalmente se utilizan para producir un componente principal completo. Por ejemplo, son comunes en la industria automotriz las carcazas de eje trasero para los camiones.

Estos sistemas se conocen como **automatización fija** o **automatización dura**, que significa que la línea de flujo está diseñada para producir un solo tipo de componente o producto. Debido a la elevada inversión inicial que se requiere y a la dificultad de cambiar a otros productos, estos sistemas se utilizan cuando la demanda del producto es alta, estable y con buenos pronósticos. Si se cumplen estas condiciones, el costo unitario de producción es muy bajo. Sin embargo, debido a los cada vez más cortos ciclos de vida de los productos y los desplazamientos en la tecnología de la producción, la popularidad de la automatización fija pudiera estar declinando. Cada vez más, los sistemas de producción están favoreciendo equipo de producción que aporte mayor flexibilidad en la producción. Posteriormente analizaremos esta tendencia, al estudiar los sistemas flexibles de manufactura.

Sistemas de ensamble automatizados

El **sistema de ensamble automatizado** es un sistema de máquinas de ensamble automatizadas vinculadas entre sí mediante equipo automatizado de manejo de materiales. Los materiales se alimentan automáticamente a cada una de las máquinas, por lo general algún tipo de robot, como un soldador robótico o una unidad de inserción de componentes, que une uno o más materiales, piezas o ensambles. Entonces, el trabajo parcialmente terminado se transfiere automáticamente a la siguiente máquina de ensamble. Este proceso se repite hasta que termina el ensamble total. El propósito de estos sistemas es producir grandes ensambles o, incluso, productos terminados.

Para que un sistema de ensamble automatizado tenga éxito, es necesario efectuar modificaciones sustanciales al diseño de producto. El diseño del producto apropiado para ensamble por manos humanas no puede aplicarse directamente a un sistema de ensamble automatizado, ya que las capacidades de los seres humanos no pueden ser duplicadas por los robots. Por ejemplo, para sujetar dos piezas entre sí, un trabajador puede utilizar tornillo, arandela y tuerca, pero en el ensamble automatizado serán necesarios nuevos procedimientos de sujeción y modificaciones en el diseño del producto.

Al rediseñar productos para ensamble automatizado se aplican principios como los que siguen:

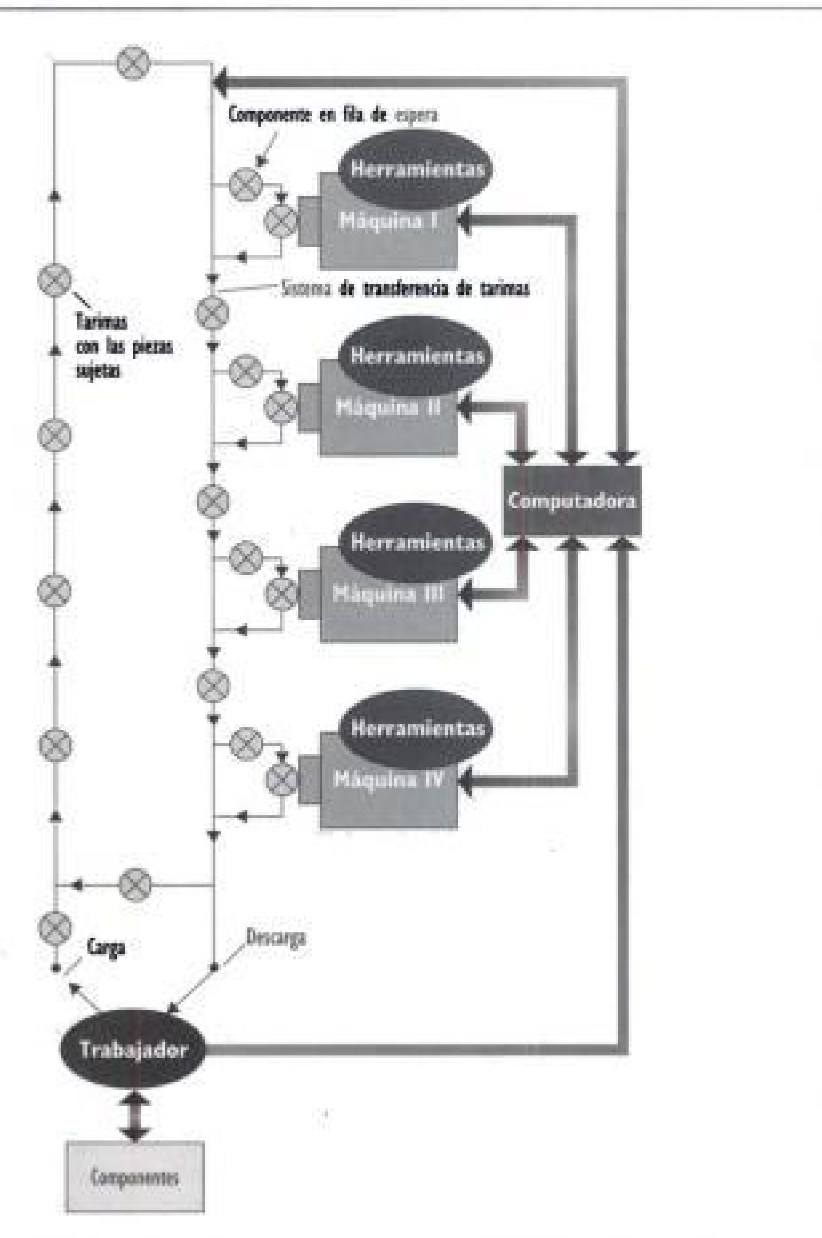
1. **Reducir la cantidad de ensamble requerida.** Por ejemplo, utilice una pieza moldeada en plástico, en lugar de dos piezas de lámina de metal sujetas entre sí.
2. **Reducir el número de sujetadores requeridos**. Por ejemplo, diseñe piezas que se enganchen entre sí o que se puedan soldar, en lugar de que se sujeten mediante tornillos, tuercas y pernos.
3. **Diseñar componentes que se puedan alimentar y posicionar automáticamente**. Esto significa diseñar piezas de tal forma que puedan ser alimentadas y orientadas para su entrega en tolvas, canales ranurados, tazones vibratorios, y otros mecanismos continuos de alimentación de piezas.
4. **Diseñar productos para ensamble en capas y para inserción vertical de las piezas**. Los productos en general deberán ensamblarse desde una base hacia arriba, en capas, hacia la parte superior del producto. Las piezas deberán diseñarse de forma que puedan insertarse verticalmente en el ensamble.
5. **Diseñar las piezas de manera que se autoalineen**. Las piezas deben tener características como hombros o resaltos, o proyecciones que se deslicen en formas coincidentes sobre piezas adyacentes, que las posicionen y alineen automáticamente conforme se insertan en los ensambles.
6. **Diseñar los productos en módulos principales para su producción**. Un sistema de ensamble automatizado se utilizaría para ensamblar cada uno de los módulos. Al desglosar el ensamble del producto completo, en varios módulos de ensamble, se reduce el tiempo de detención del sistema.
7. **Incrementar la calidad de los componentes**. Los componentes de elevada calidad evitan que haya obstrucciones en los mecanismos de alimentación y ensamble.[4]

Los sistemas de ensamble automatizados pueden proporcionar a los fabricantes costos bajos de producción por unidad, mejor calidad y mayor flexibilidad de producto. Dado que algunas de las máquinas de estos sistemas tienden a ser robots estándar disponibles de varios proveedores, la inversión inicial en equipo no resulta tan elevada como pudiéramos imaginar. Por lo tanto, estos sistemas no están restringidos a productos con demanda muy elevada y cada día estos robots pueden reprogramarse para otros productos y operaciones, reduciendo así la necesidad de que la demanda del producto sea estable y que dure mucho tiempo.

Sistemas flexibles de manufactura

Los **sistemas flexibles de manufactura (FMS,** por sus siglas en inglés) son grupos de máquinas de producción organizadas en secuencia y conectadas mediante máquinas de manejo y transferencia de materiales automatizadas, integradas a través de un sistema computarizado. La figura 5.1 ilustra un sistema de este tipo.

FIGURA 5.1 SISTEMA FLEXIBLE DE MANUFACTURA



Fuente: Adaptado con permiso de "Computer-Managed Parts Manufacture", by Nathan H. Cook, SCIENTIFIC AMERICAN, febrero de 1975, 21-29. Copyright © 1975 por SCIENTIFIC AMERICAN Inc. Todos los derechos reservados.

En estos sistemas, que también se conocen como *sistemas flexibles de maquinado*, se cargan conjuntos de materiales y piezas para un producto en el sistema de manejo. Se introduce un código en el sistema de flujo, que identifica el producto a fabricar y su ubicación dentro de la secuencia. Conforme se completan productos parcialmente terminados en una máquina, se trasladan automáticamente a la siguiente máquina de producción; cada máquina de producción recibe ajustes e instrucciones de la computadora, y automáticamente carga y descarga herramientas, según se requiera y termina su trabajo sin que los operarios intervengan.

INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 5.4

FMS CAMBIA A OTROS PRODUCTOS EN CUESTIÓN DE SEGUNDOS

Treinta y cinco brazos de robots sujetan los componentes principales de la carrocería Sentra de Nissan con una alineación virtualmente perfecta y otros 16 brazos sueldan las piezas en 62 puntos. Entonces, 45 segundos después, todo cambia. La carrocería del sedán de cuatro puertas avanza y automáticamente una computadora reajusta los bancos de robots para poder ensamblar el siguiente producto en la línea, que es un cupé. Después, la computadora hace de nuevo su parte y los robots ensamblan la carrocería de una camioneta. Al terminar la línea, cada una de las carrocerías será pintada de un color distinto y recibirán diferentes componentes, todo ello determinado mediante un comando de la computadora. Cada automóvil se acompaña de un disco de identificación especialmente programado, que emite señales de radio que detectan receptores en cada estación de trabajo e informan al robot o al trabajador el tipo de batería, de amortiguador o de estéreo que se debe instalar. El nuevo sistema flexible de manufactura utiliza robots programables por computadora capaces de fabricar hasta cuatro modelos y ocho tipos de carrocerías. Modificando los programas de cómputo de los robots es posible introducir nuevos modelos. Estos nuevos programas son resultado de la actividad de diseño del producto CAD/CAM. Los costos por herramental de nuevos productos se reducen dramáticamente, los productos nuevos se pueden introducir en la mitad del tiempo y se evita un inventario excesivo de automóviles. Nissan utiliza el FMS en sus plantas de Zama y de Tochigi, y está instalando el sistema en otras dos plantas en Japón, así como en su planta de Smyrna, Tennessee.

Pero Nissan no está solo. Toyota fabrica los productos Supra, Lexus y Soarer en una misma línea de ensamble en su planta de Tahara.; Honda produce los Accord y los Integra en una línea en Suzuka, y encontramos el FMS en industrias distintas a la automotriz. La Manufacturing Systems Division de Milacron de Cincinnati ha instalado cientos de estos sistemas en todo Estados Unidos. Cummins Engine Company es un usuario constante del FMS.

Fuente: "Japan's Industrial Robots Becoming more Flexible". *Houston Chronicle*, 16 de abril, 1990, 2B; Meredith, J. "Installation of Flexible Manufacturing System Teaches Management Lessons in Integration, Labor, Cost, Benefits". *Industrial Engineering* (abril 1988): 18-27; Venkatesan, Ravi. "Cummins Engine Flexes Its Factory". *Harvard Business Review* (marzo-abril 1990): 120-127.

A pesar de que el costo inicial de estos sistemas es elevado, los costos de producción por unidad son bajos, la calidad de los productos es alta y superior la flexibilidad en el producto. El FMS está creciendo en importancia y muchas empresas planean instalarlo. En la Instantánea industrial 5.4 se analiza el uso de FMS por varios fabricantes.

SISTEMAS AUTOMATIZADOS DE ALMACENAMIENTO Y RECUPERACIÓN

Los **sistemas automatizados de almacenamiento y recuperación** (**ASRS**, por sus siglas en inglés) son sistemas para recibir pedidos de materiales de cualquier parte de las operaciones, reunirlos dentro del almacén y entregarlos a las estaciones de trabajo. Hay tres elementos principales en ASRS:

1. **Sistemas de cómputo y comunicación**. Se utilizan para la colocación de los pedidos por materiales, para su ubicación en almacenamiento, para dar comandos u órdenes para su entrega a las localizaciones en las operaciones y para ajustar registros de inventario que muestran su existencia y ubicación.
2. **Sistemas automatizados de manejo de materiales y de entregas**. Estos sistemas se cargan automáticamente con recipientes de materiales de las operaciones, mismos que se entregan en el almacén. De manera similar, se alimentan automáticamente con pedidos de los materiales del almacén, mismos que se entregan a las estaciones de trabajo en las operaciones. A veces se utilizan bandas transportadoras de varios tipos, movidas mecánicamente y controladas por computadora, pero ahora cada vez más se utilizan los **sistemas de vehículos guiados automáticamente** (AGVS, por sus siglas en inglés). Los AGVS consisten por lo general en trenes sin conductor, camiones de tarimas y transportes para cargas unificadas. Los AGVS generalmente siguen cables guía subterráneos, o franjas de pintura, a través de las operaciones, hasta que llegan a su destino.

3. **Sistemas de almacenamiento y recuperación en almacenes**. Los almacenes guardan los materiales en recipientes de tamaño estándar, con cantidades fijas de cada material. Por ejemplo, un recipiente de un tipo particular de moldura de plástico siempre contendría 100 componentes. Estos recipientes se organizan de acuerdo con un sistema de direccionamiento de ubicaciones, que permite a una computadora determinar con precisión la ubicación de cada material. Una **máquina de almacenamiento y de recuperación** (S/R, por sus siglas en inglés) recibe órdenes de una computadora, toma los recipientes con materiales de un **lugar de carga** dentro del almacén, los lleva a la ubicación que se les asignó y los coloca en su sitio. De manera similar, las máquinas S/R localizan en el almacén los recipientes con materiales, los saca del almacenamiento y entrega los recipientes en un **lugar de depósito** dentro del almacén.

Los objetivos principales de instalar ASRS son:

1. **Incrementar la capacidad de almacenamiento**. Los ASRS por lo general pueden incrementar la densidad de almacenamiento en los almacenes, el número máximo total de cargas independientes que se pueden tener en existencia.
2. **Incrementar la tasa de operación del sistema**. Los ASRS incrementan la cantidad de cargas por hora que el sistema de almacenamiento puede recibir y colocar en el almacen, así como recuperar del almacén y entregar a las estaciones de trabajo.
3. **Reducir costos por mano de obra.** Al automatizar los sistemas de recuperación, almacenamiento y entrega de materiales, a menudo se reducen los costos por mano de obra y otros relacionados.
4. **Mejorar la calidad del producto**. Debido al error humano al identificar los materiales, con frecuencia se entregan componentes equivocados y éstos se ensamblan en los productos. Estos errores ocurren comúnmente cuando la apariencia de diferentes materiales es similar. Los sistemas automatizados que identifican los componentes, con base en un código de barras u otros métodos de identificación, no están sujetos a este tipo de errores de identificación.

Además de su uso en ambientes de manufactura, los ASRS se han puesto en práctica exitosamente en algunas organizaciones de servicio. La Instantánea industrial 5.5 ilustra una aplicación de ASRS en farmacias de hospital.

Hemos analizado varios sistemas de producción automatizados de uso común actualmente. ¿Cómo serán los sistemas de producción en el futuro?

FÁBRICAS DEL FUTURO

Para comprender la naturaleza de la producción que más probablemente prevalecerá en las próximas décadas, debemos comprender los fundamentos de dos sistemas bastante complejos basados en computadora: el diseño asistido por computadora y la manufactura asistida por computadora (CAD/CAM), así como la manufactura integrada por computadora (CIM, por sus siglas en inglés).

CAD/CAM

CAD y CAM se abordaron en el capitulo 2. Los términos CAD/CAM merecen definirse.

- **CAD:** uso de computadoras para el dibujo interactivo de ingeniería y almacenamiento de los diseños. Los programas completan la disposición física, las transformaciones geométricas, las proyecciones, los giros, las amplificaciones y las secciones transversales de una parte, así como su relación con otros componentes.
- **CAM:** Uso de las computadoras para programar, dirigir y controlar equipo de producción en la fabricación de bienes manufacturados.[5]

CAD se preocupa de la automatización de ciertas fases del diseño del producto y su uso está aumentando conforme se desarrolla software más y más poderoso. La mayor disponibilidad de estaciones de trabajo para diseños de ingeniería está revolucionando la forma en que se diseñan los

INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 5.5

ASRS EN LAS FARMACIAS DE LOS HOSPITALES

Llena los anaqueles, surte recetas, e incluso, factura automáticamente a los pacientes. Lo que de seguro no hará es contestarle al jefe.

Este sistema automático de almacenamiento y recuperación (ASRS) está abriéndose camino en los hospitales de todo Estados Unidos. Identificado como el "robot de farmacia", este sistema nuevo, de alta tecnología de cómputo, puede almacenar y recuperar medicamentos sin error en tiempo récord.

En una era de perpetuos esfuerzos de las empresas de administración de la atención a la salud a fin de que sean más eficientes, la idea de un sistema automatizado de surtido de recetas tuvo éxito inmediato en los años 1990. Los hospitales estaban interesados en obtener precisión y reducir la posibilidad de errores humanos. De los 30 millones de recetas que hasta ahora han llenado los "robots" no ha habido ningún error.

El Mercy Hospital de Pittsburgh, uno de los primeros hospitales del país en instalar este tipo de sistema obtuvo su ASRS en septiembre de 1994. Después de un año, el ASRS era responsable de surtir 85% de las recetas del hospital. El robot de farmacia no tiene autorización para manejar sustancias controladas o peligrosas, medicinas refrigeradas ni dosis superiores a las bolsas de cinco pulgadas utilizadas por el sistema.

El ASRS está conectado al sistema de cómputo del hospital e identifica cualquier posible problema de interacción entre medicinas u otras alergias. Puede almacenar mil dosis en sólo 20 minutos. El robot de farmacia se parece más a una cámara de video sobre un poste que al robot típico de las películas. Está instalado en un túnel de vidrio de 10.6 metros de largo y bombas neumáticas lo empujan de atrás hacia adelante a lo largo de un riel metálico. Un ojo infrarrojo recorre los códigos de barra impresos sobre las pequeñas bolsas de medicamentos, para ser aspiradas utilizando copas de succión, y se depositan en recipientes etiquetados que se llevan a las camas de los pacientes. De un hospital a otro, dependiendo del espacio y de las necesidades, el tamaño de cada robot es diferente.

El robot de farmacia ha obtenido hasta ahora un gran éxito e indudablemente seguirá haciéndolo. En apenas unos cuantos segundos, puede procesar información que a los encargados les hubiera tomado horas e, incluso, días. Y, desde luego, libera a estas personas de tareas rutinarias, de manera que puedan dedicarse más a asesorar a sus pacientes.

Fuente: "Robot Eases Life of Hospital Pharmacists". *San Antonio Express-News*, 14 de enero, 1996, 5J.

productos. Los sistemas CAD se instalan para incrementar la productividad de los diseñadores, mejorar la calidad de los diseños, mejorar la estandarización de los productos y la documentación de los diseños y generar una base de datos para manufactura. El software CAD más ampliamente utilizado es AutoCAD, que puede correrse en PC. Está actualmente en su versión 14 y lo produce Autodesk Inc. (**www.autodesk.com**). Se lanzó por primera vez en 1982, y cerca de dos millones de copias de AutoCAD se han vendido en más de 150 países, haciendo de Autodesk la quinta empresa de software para PC del mundo.



CAM se ocupa de automatizar la planeación y el control de la producción y se desarrolla más lentamente que CAD, aunque de manera continua. La capacidad de planear la producción, preparar rutas de productos, generar programas N/C, determinar ajustes de máquinas de producción, preparar programas de producción y controlar la operación de los procesos productivos utilizando computadoras, son operaciones que sin duda seguirán expandiéndose conforme el software de computadora se haga más complejo, pero es la combinación de CAD y CAM en sistemas CAD/CAM lo que nos deja entrever cómo serán los futuros sistemas de producción.

CAD/CAM implica una fusión de CAD con CAM y una interacción entre ambos sistemas. El resultado importante de esta fusión es la automatización de la transición entre el diseño del producto y su manufactura. Se pueden diseñar rápidamente productos nuevos, conforme cambian las demandas del mercado. Dado que estos nuevos diseños de producto están almacenados en una base de datos común, a través de CAM se pueden introducir los nuevos productos con mucha mayor rapidez y a menor costo, por lo que CAD/CAM ofrece gran flexibilidad en el producto, bajos costos y mejor calidad de la producción.

Los sistemas CAD, como en este estudio de diseño de automóviles, incrementan la productividad de los diseñadores, mejoran la calidad de los diseños y ayudan en la estandarización de los productos.



MANUFACTURA INTEGRADA POR COMPUTADORA

La manufactura integrada por computadora (**CIM**, por sus siglas en inglés) se define como "la aplicación de una computadora para unir y conectar varios sistemas computarizados formando un todo integrado y coherente". Como ilustra la figura 5.2, "los presupuestos, CAD/CAM, los controles de los procesos, los sistemas de tecnología de grupo, MRP II, los sistemas de información financiera, etc., están enlazados y con una interfase entre ellos".[6] Como podemos inferir de esta definición, CIM tiene una aplicación más amplia que CAD/CAM.

> *El concepto CIM es que todas las operaciones de una empresa relacionadas con la función productiva se incorporan a un sistema de cómputo integrado para asistir, aumentar y/o automatizar las operaciones. Este sistema de cómputo está presente en toda la empresa, en contacto con las actividades que apoyan a la manufactura. En este sistema integrado de cómputo, el resultado de una actividad sirve de insumo para la siguiente a través de la cadena de eventos o sucesos que se inician con el pedido de ventas y que culminan con el embarque del producto.*[7]

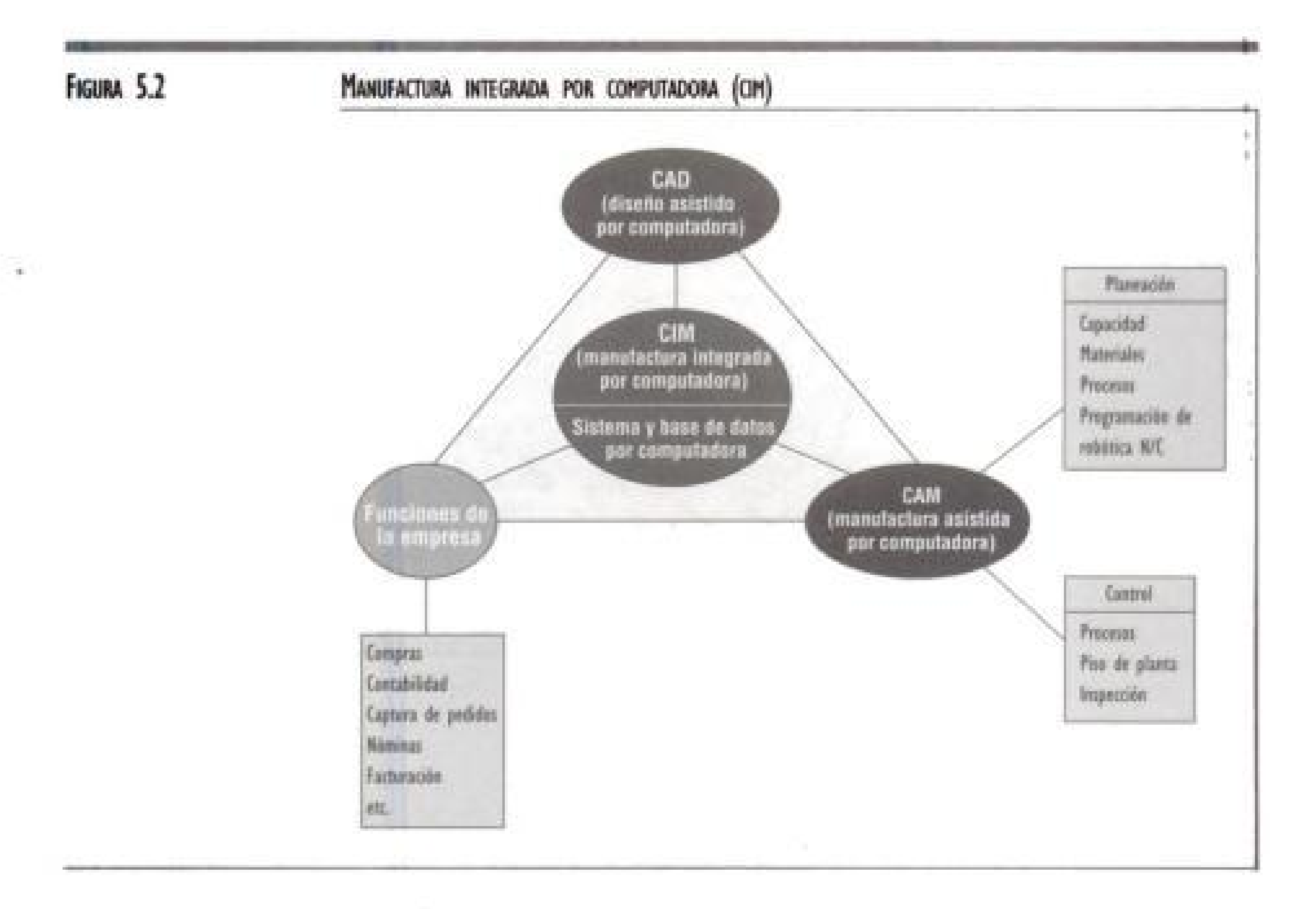
Además de los sistemas completos de cómputo que arriba se describen, el término *CIM* se ha venido asociando con el uso de la más reciente tecnología de producción. Pero como apunta John J. Clancy, presidente de McDonell-Douglas, "CIM no es un equipo, de hecho tampoco es una tecnología, se trata de una forma de utilizar la tecnología".[8]

Durante los años 1990 el software de computadora ha seguido haciéndose más complejo, con lo que los paquetes completos más recientes se han venido identificado como sistemas de **planeación de los recursos de la empresa** (ERP, por sus siglas en inglés). "Los sistemas ERP automatizan los sistemas de manufactura, organizan los libros de contabilidad, modernizan los departamentos corporativos, como recursos humanos, y muchas cosas más; son las aplicaciones que hacen posible la reingeniería."[9]

Un sistema ERP es un conjunto complejo de programas cuya puesta en práctica puede tomar varios años y muchos millones de dólares. En el caso de empresas grandes, adquirir e ir formando un sistema ERP puede costar cientos de millones de dólares. Chevron desembolsó alrededor de 160 millones de dólares a lo largo de cinco años, durante los 90, para poner su sistema ERP en operación.

Las seis empresas de software ERP principales son SAP, Oracle, J. D. Edwards, PeopleSoft, Baan y SSA. El decano de ERP es SAP, el gigante del software, fundado en 1972 por cinco inge-

FIGURA 5.2 MANUFACTURA INTEGRADA POR COMPUTADORA (CIM)



nieros que trabajaban para IBM. Con una penetración en el mercado de 33%, el software de SAP se conoce como R/3. Inicialmente, R/3 estaba enfocado a hacer más eficientes los procesos de manufactura y contabilidad, pero hoy SAP ofrece módulos R/3 para otras funciones empresariales, como la intendencia y los recursos humanos. La Instantánea industrial 5.6 ilustra la naturaleza integradora del software R/3 de SAP.

Con nuestra comprensión de CAD/CAM y CIM, veamos la naturaleza de las plantas del futuro.

CARACTERÍSTICAS DE LAS FÁBRICAS DEL FUTURO

Existen hoy varias fábricas del tipo conocido como **fábricas del futuro**. En el futuro se irán estableciendo un número siempre creciente de estas organizaciones y tendrán las siguientes características:

1. **Elevada calidad del producto.** Se evitará la baja calidad y variabilidad asociada con las operaciones manuales. La automatización permitirá una consistente y elevada calidad del producto. La demanda del mercado para una alta calidad del producto asegurará que esta característica reciba una prioridad de primera importancia.
2. **Alta flexibilidad.** Se utilizará nueva tecnología flexible en el diseño de los procesos de la producción. Se producirán muchos modelos de productos para que resulten atractivos a aquellos mercados que demandan diversidad en el producto. Se producirán pequeños lotes de muchos modelos de productos y en estas condiciones será económica la operación de los procesos de producción.
3. **Entrega rápida de los pedidos de los clientes.** Con pequeños lotes, operaciones que pueden rápidamente cambiarse a otros productos y altas velocidades de producción, los pedidos de los clientes se producirán y embarcarán con prontitud.

INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 5.6

ADMINISTRACIÓN DE UNA EMPRESA UTILIZANDO SOFTWARE ERP DE SAP

SAP es líder en el mercado de software de planeación de recursos empresariales (ERP). Su software R/3 permite que una empresa integre y administre mejor la mayoría de sus actividades empresariales y sus funciones de operación. La siguiente descripción de cómo funciona R/3 ilustra la forma en que un pedido de un cliente genera una reacción de eventos en cadena, de un extremo a otro, de una empresa hipotética, fabricante de zapatos.

1. **Pedidos:** Un representante de ventas de la empresa fabricante de zapatos recibe de un minorista del Brasil un pedido por mil tenis azules. Desde su laptop, el representante de ventas se conecta con el módulo de ventas R/3 de las oficinas centrales en Estados Unidos y verifica el precio, incluyendo cualquier descuento a que tenga derecho el detallista, así como su historial crediticio.
2. **Disponibilidad:** Simultáneamente, el software de inventarios de R/3 verifica las existencias y notifica al representante de ventas que la mitad del pedido puede surtirse de inmediato desde un almacén brasileño. El resto del pedido se entregará en un plazo de cinco días directamente desde la planta de la empresa en Taiwán.
3. **Producción:** El software para manufactura de R/3 programa la producción de los tenis en la planta de Taiwán, avisando al mismo tiempo al gerente del almacén de la empresa en Brasil para que embarque los 500 zapatos al detallista. Se imprime una factura, en portugués.
4. **Mano de obra:** Ahora, el módulo de recursos humanos R/3 detecta que hay escasez de trabajadores en la planta de Taiwán para poder manejar el pedido y avisa al gerente de personal de la necesidad de contratar trabajadores temporales.
5. **Adquisiciones:** El módulo de planeación de materiales de R/3 notifica al gerente de compras que ha llegado el momento de volver a pedir tinte azul, hule y agujetas para tenis.
6. **Seguimiento de los pedidos:** A través de Internet, el cliente se conecta o registra en el sistema R/3 de la empresa fabricante de zapatos, y nota que 250 de los 500 tenis que provienen de Taiwán han sido fabricados y teñidos. El cliente también ve que hay 500 tenis rojos en existencia y coloca un pedido de seguimiento, usando la Internet.
7. **Planeación:** Con base en los datos de los módulos de pronóstico financiero de R/3, el presidente del consejo de administración observa que los tenis de color no sólo tienen mucha demanda, sino también son muy rentables. Decide agregar una línea de calzado fluorescente.

Fuente: "Silicon Valley on the Rhine". *Business Week*, 3 de noviembre, 1997, 162-166. Reproducido del número del 3 de noviembre, 1997, de *Business Week* con permiso especial, derechos de autor 1997 por The McGraw-Hill Companies, Inc.

4. **Economía de la producción diferente.** En la fabrica automatizada, costos que antes eran variables ahora serán fijos y los que antes eran fijos se convertirán en variables. La gran mayoría de los costos serán fijos, los únicos costos variables significativos serán los de materiales y los indirectos. Cualesquiera que sean los costos por mano de obra existentes, por ejemplo el mantenimiento, serán considerados como fijos. Los costos predominantes serán los indirectos, como los de oficina y contabilidad, ingeniería, de equipo, de herramental, de mantenimiento, de servicios públicos y de software.
5. **Sistemas guiados e integrados por computadora.** CAD/CAM formarán la base para el diseño del producto y la planeación de los procesos. CIM (o ERP) integrará todas las fases del negocio, partiendo de una base de datos común.
6. **Cambios en la estructura organizacional.** En una fábrica automatizada, el personal de línea se parecerá más al de apoyo, y el de apoyo se parecerá más al personal de línea. El mantenimiento, la calidad del producto, la ingeniería, la administración de los cambios tecnológicos, el desarrollo y el mantenimiento de software y la robótica y proyectos de automatización serán las actividades de importancia de la organización.

TABLA 5.2 ALGUNOS EJEMPLOS DE LA AUTOMATIZACIÓN EN LOS SERVICIOS

Industrias de servicios	Ejemplos de automatización
Aerolíneas	Sistemas de control de tráfico aéreo Sistemas de piloto automático Sistemas de reservaciones, como SABRE de UAL Puesta en contenedores de la carga
Bancos, ahorros y préstamos, y servicios financieros	Cajeros automáticos Transferencias electrónicas de fondos Códigos de reconocimiento de caracteres de cinta magnética Lectores ópticos Informes de bancos computarizados Banca telefónica y en línea
Ventas al menudeo y al mayoreo	Terminales de punto de venta Sistema de códigos de barras Lectores ópticos Almacenes automatizados Cubículos de fotografía automatizados Sistemas de pago automatizados en estaciones de servicio de gasolina
Cuidados a la salud	AGVS para la recolección de desperdicios Lectores CAD Sistemas de imágenes por resonancia magnética Vigilancia automatizada de los pacientes Terminales al pie de cama Robots domésticos y de hospital

En las fábricas del futuro, los talleres de tareas evolucionarán hacia la manufactura celular con grados crecientes de automatización flexible. La producción enfocada al producto evolucionará hacia sistemas flexibles de manufactura (FMS). En ambos extremos del espectro actual, prevalecerán la flexibilidad en el producto, bajos costos unitarios y una elevada calidad del producto.

Veamos ahora el uso de la automatización en el naciente sector de servicios.

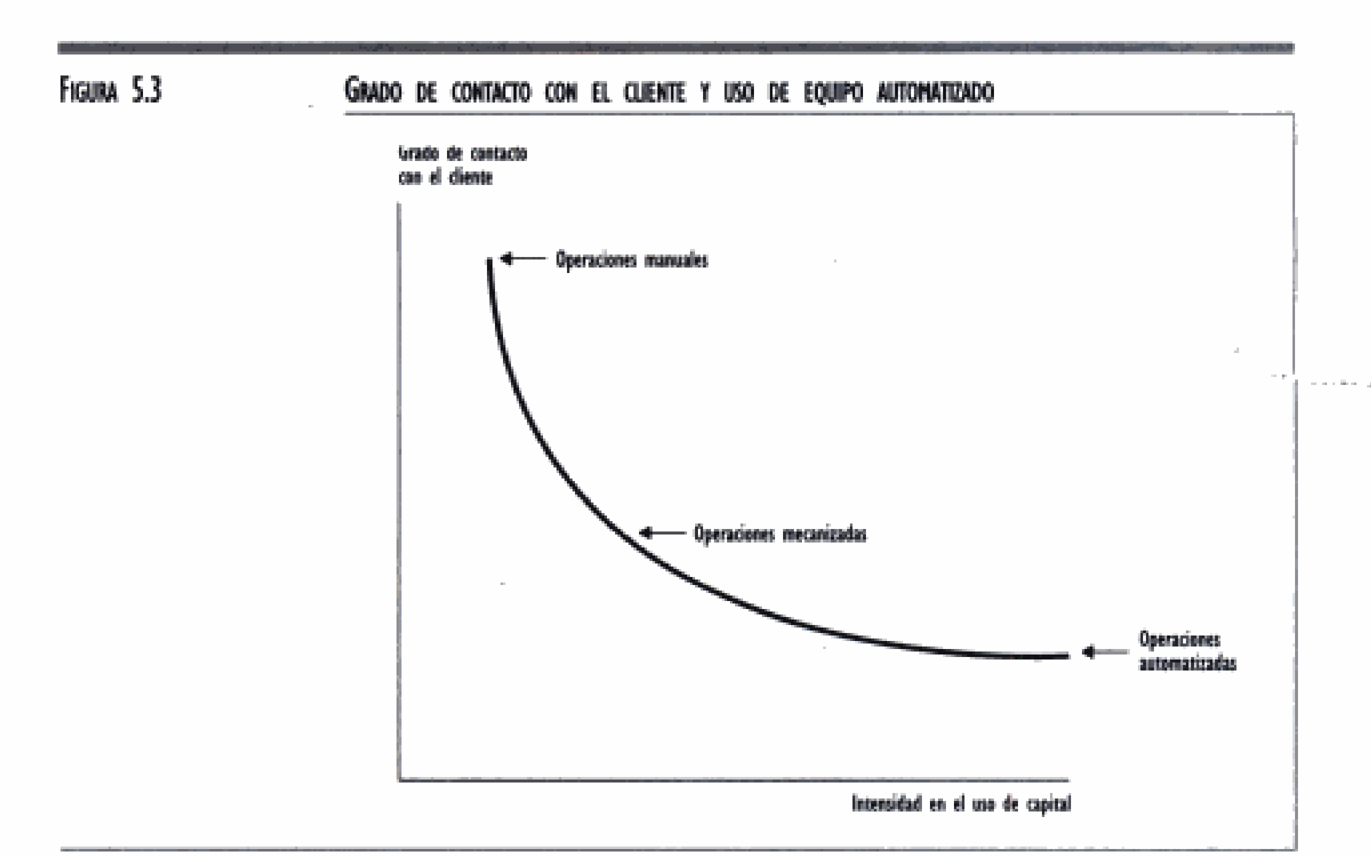
AUTOMATIZACIÓN EN LOS SERVICIOS

Cuando consideramos la amplia gama de servicios proporcionados por las empresas de las siguientes ramas industriales, resultan impresionantes las oportunidades de aplicación de la automatización: seguros, bienes raíces, ahorros y préstamos, bancos, autotransportes, aerolíneas y fletes aéreos, construcción, ventas al menudeo y al mayoreo, impresión y edición de publicaciones, publicidad y difusión, servicios empresariales, corretaje de valores y servicios financieros, cuidados a la salud, alojamiento y entretenimiento, comunicaciones, ferrocarriles y servicios públicos.

La Instantánea industrial 5.5 ilustró un ejemplo del crecimiento de la tecnología de punta en los servicios. La tabla 5.2 da algunos ejemplos de automatización en cuatro industrias de servicio. Quizás ninguna otra industria de servicio esté tan dominada por el uso de computadoras y equipo automatizado como la banca. Los cajeros automáticos, los sistemas electrónicos de transferencia de fondos y los informes mensuales de estados de cuenta computarizados son sólo la punta del *iceberg*. Toda esta industria depende tanto de computadoras y equipos relacionados para sus operaciones cotidianas, que literalmente no puede operar sin ellos.

Conforme en las operaciones de servicio se integran más equipos y sistemas de tecnología avanzada, se estará quizá creando una interesante tendencia hacia servicios más estandarizados y con menor contacto con el cliente. Dado que el equipo automatizado posiblemente no puede esperar en un entorno sujeto a la diversidad de variedades y cambios presentes en algunos servicios, la reducción y estandarización de la diversidad de servicios ofrecidos permite introducir equipos automatizados. Esta estandarización, sin embargo, tiene pros y contras. Por una parte, desde el pun-

FIGURA 5.3 GRADO DE CONTACTO CON EL CLIENTE Y USO DE EQUIPO AUTOMATIZADO



to de vista de los clientes, los servicios estandarizados no son tan atrayentes, porque el servicio no se ha diseñado de manera personal específicamente para cada persona. Por otra parte, el costo de las operaciones y los precios de los servicios se reducen, o no aumentan con tanta rapidez, y pueden resultar más convenientes para los clientes. Considere, por ejemplo, la proliferación de cajeros automáticos localizados en supermercados, centros comerciales y las instalaciones de sucursales bancarias para automóvil. En los cajeros automáticos los clientes quizás no pueden obtener una gama tan amplia de servicios, pero su ubicación resulta conveniente y su servicio es rápido.

En general, en los servicios en los que exista mucho contacto con el cliente, habrá tendencia a un menor uso de todo tipo de equipo, incluyendo el automatizado. La figura 5.3 ilustra la relación entre el grado de contacto con el cliente y la intensidad en el uso de capital. La intensidad en el uso de capital aumenta conforme pasamos de equipo manual a mecanizado y a equipo automatizado. Esta figura sugiere que el equipo automatizado pudiera no ser apropiado para algunas operaciones de servicio con elevado grado de contacto con el cliente. Pero como se vio anteriormente, algunas operaciones de servicio se pueden automatizar, pues ofrecen mayor comodidad y costos más reducidos, así como los que no tienen un grado elevado de contacto con el cliente en todas las áreas de su organización (por ejemplo, las operaciones de trastienda en bancos, donde rara vez están presentes los clientes, son candidatos claros a la automatización).

Las operaciones de muchas empresas de servicio están mejorando debido a tecnologías de comunicaciones avanzadas, a Internet y a redes internas en la empresa. La Instantánea industrial 5.7 describe la forma en que una compañía está utilizando la Internet para reducir el tiempo de entrega requerido para el diseño de nuevo software.

La amplia diseminación de sistemas automatizados en las industrias de manufactura y de servicios ha creado muchos problemas que requieren analizarse.

INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 5.7

LA TECNOLOGÍA EN LAS COMUNICACIONES ANIQUILAN EL TIEMPO Y LA DISTANCIA

Un grupo de programadores de computadoras de la Universidad Tsinghua en Beijing está escribiendo software, con tecnología Java. Trabajan para IBM. Al final de cada día, envían su trabajo por Internet a una instalación IBM en Seattle, donde hay programadores que combinan el trabajo y utilizan Internet para lanzarlo a través de 8,402 kilómetros al Instituto de ciencias computacionales en Bielorrusia y al Software House Club en Letonia. De allí, el trabajo se envía al este, al Tata Group de India, que a la mañana siguiente transfiere el software de regreso a Tsinghua, en Beijing, otra vez de regreso a Seattle, y así sucesivamente, en grandes relevos mundiales que sólo se detienen cuando se termina el proyecto.

"Lo llamamos Java alrededor del reloj", dice John Patrick, vicepresidente de tecnología Internet para IBM. "Es como si hubiéramos creado un día de 48 horas a través de Internet." Internet y las redes de computadoras permiten que las empresas trabajen globalmente en formas jamás pensadas con anterioridad.

Fuente: Maney, Kevin. "Technology Is 'Demolishing' Time, Distance". *USA Today*, 24 de abril, 1997, 1-2B.

PROBLEMAS DE AUTOMATIZACIÓN

De los temas importantes de automatización por considerar, analizaremos los siguientes: ¿producción de alta, media o baja tecnologías?; incorporación de flexibilidad a la manufactura; justificación de proyectos de automatización; administración del cambio tecnológico, y desplazamiento, capacitación y reentrenamiento de los trabajadores.

¿PRODUCCIÓN DE ALTA, MEDIA O BAJA TECNOLOGÍAS?

Podemos encontrar ejemplos de empresas muy exitosas que utilizan la tecnología manual más antigua conocida; también podemos encontrar ejemplos de empresas que están fracasando, a pesar de tener la tecnología avanzada más reciente. Pero no debemos llegar a la conclusión de que la tecnología de producción utilizada por una empresa no tiene ninguna relación con su rentabilidad o con otras medidas del éxito. Un cuidadoso estudio de este problema nos debería llevar a estas conclusiones:

1. **No todos los proyectos de automatización tienen éxito**. Las empresas que lanzan grandes proyectos de automatización pudieran administrar mal la implementación de la maquinaria automatizada. El resultado puede ser que, al final, se encuentren en peor situación después de la automatización que como estaban con su anterior tecnología de producción.
2. **La automatización no puede compensar una mala administración**. Incluso si la implantación de la maquinaria automatizada de producción funciona bien, la empresa pudiera estar tan mal administrada que fracasará de todas maneras.
3. **El análisis económico no puede justificar la automatización de algunas operaciones**. Por ejemplo, si el costo de la mano de obra es muy reducido y el equipo automatizado muy costoso, el costo adicional de la automatización pudiera no quedar suficientemente compensado por la calidad en el producto y por otras mejoras. Esta es la razón por la cual encontramos tantas maquiladoras de ropa a ambos lados de la frontera México-Estados Unidos.
4. **No es técnicamente factible automatizar algunas operaciones**. Por ejemplo, en la industria de la ropa, la tela que debe procesarse es tan elástica, flexible y delicada, que ciertas operaciones de producción, como el corte, el ensamble y la costura todavía no se automatizan. En estas operaciones, el obstáculo principal a la automatización es el posicionamiento impreciso de la tela en relación con las cuchillas de corte, cabezas de costura y otros dispositivos mecánicos.
5. **Los proyectos de automatización quizás tengan que esperar para negocios pequeños y en su etapa inicial**. En razón a la escasez de fondos de capital y de conocimientos técnicos y de ingeniería, la producción y distribución de productos pueden llevarse a cabo mediante

contratos con empresas proveedoras de transporte y de distribución. Conforme los productos [illegible] la producción y/o los transportes, pero probablemente la

contratos con empresas proveedoras de transporte y de distribución. Conforme los productos maduran, estos negocios recuperan la producción y/o los transportes, pero probablemente la automatización todavía no se contempla. Finalmente, los procesos de producción se podrán automatizar conforme maduran los productos y las empresas adquieren capacidad de ingeniería y tecnológica para diseñar, instalar e integrar proyectos de automatización. Pero no todos los conocimientos sobre automatización deben residir en el interior de una empresa, puesto que hay una larga lista de proveedores de servicios de automatización a la medida, tanto para empresas pequeñas como grandes. Aunque resultan costosas para negocios pequeños y negocios en su etapa inicial, empresas como Cincinnati Milacron, Cross & Trecker, Prab Robots, Mobot Corporation, United Technologies y General Electric son ejemplos de este tipo de proveedores de servicios de automatización.

Algunas operaciones de producción todavía no han sido automatizadas y sin duda algunas jamás lo serán. Pero en compañías comprometidas a un crecimiento a largo plazo, a la supervivencia y a la rentabilidad, la razón principal para no automatizarse no podrá ser la cerrazón mental. *La verdad es que todas las empresas deben mantener sus procesos de producción actualizados conforme avanza la tecnología de la producción. No hacerlo pondría en riesgo el futuro de las empresas, porque deben suponer que sus competidores aprovecharán la ventaja estratégica que representa pasar a tecnologías avanzadas.* Para muchas compañías, la cuestión no es si automatizarán sus operaciones. Más bien, las preguntas son: ¿qué operaciones se automatizarán? ¿En qué secuencia se automatizarán las operaciones? ¿Cuándo se automatizarán las operaciones?

Incorporación de flexibilidad en la manufactura

El término **automatización flexible** significa lo opuesto al término **sistemas fijos de manufactura** o **automatización dura**, como por ejemplo las líneas de flujo automatizadas o líneas de producción convencionales. En años recientes, el uso de este término se ha ampliado para referirse a todos los tipos de equipo y sistemas de producción que brindan la capacidad de responder a las necesidades cambiantes del mercado. La **flexibilidad en la manufactura** es la capacidad de mejorar o mantener la penetración en el mercado debido a lo siguiente:

1. Los pedidos de los clientes se pueden entregar pronto después de haberlos recibido. Algunas veces esto significa modificar los programas de producción para responder a la solicitud extraordinaria de un cliente para una entrega rápida.
2. La producción se puede desplazar rápidamente de un producto a otro, porque en una semana en particular los clientes pueden pedir lotes relativamente pequeños de diversos modelos de productos.
3. La capacidad de producción se puede incrementar con rapidez, para responder a las demandas pico del mercado en una semana en particular.
4. Se pueden desarrollar e introducir nuevos productos en la producción con rapidez y económicamente, en respuesta a las cambiantes necesidades del mercado.

Como hemos hecho notar anteriormente, la flexibilidad en la manufactura es de dos tipos generales: en el volumen y en el producto. La flexibilidad en el volumen por lo general se obtiene utilizando tiempo extra, teniendo un inventario adicional de productos terminados y diseñando los procesos de producción con **velocidades variables de producción** o con **capacidad excedente**. Sin embargo, conforme los sistemas de producción se han hecho más sensibles a las demandas de los mercados, lo que solía ser capacidad excedente ahora se considera sólo como *capacidad suficiente para responder a la demanda pico del mercado*. Pero quizás la forma más importante de flexibilidad en la manufactura es la flexibilidad en el producto, es decir, la capacidad de cambiar el sistema de producción de manera rápida y económica a otros productos.

Como se mencionó en este capítulo, los sistemas de producción enfocados a los procesos ofrecen una gran flexibilidad en el producto, aunque los costos unitarios de producción puedan ser elevados. Históricamente, el número de sistemas de producción enfocados a los procesos ha excedido con mucho el de otras formas de producción. Pero hoy, muchos fabricantes están buscando alternativas a los talleres de tareas, porque estos sistemas de producción enfocados a los procesos no les permiten competir con sus competidores del extranjero en costos de producción unitarios.

Sin embargo, debido a una mejor tecnología de producción, existen otras formas de lograr flexibilidad en el producto y obtener bajos costos unitarios de producción.

A continuación, damos algunos ejemplos de máquinas o sistemas de producción que suelen proporcionar flexibilidad en el producto:

- Máquinas N/C
- Robots programables y reprogramables
- Inspección automatizada del control de calidad
- Sistemas automáticos de identificación (AIS)
- Controles automatizados de los procesos
- Sistemas de ensamble automatizados
- Sistemas flexibles de manufactura (FMS)
- Sistemas automatizados de almacenamiento y recuperación (ASRS)
- Diseño asistido por computadora y manufactura asistida por computadora (CAD/CAM)
- Manufactura integrada por computadora (CIM)

Estas máquinas y sistemas de producción representan el núcleo central de lo que se conoce como *automatización flexible*. Quizás lo más significativo es su capacidad de producir con bajos costos unitarios y ofrecer simultáneamente gran flexibilidad en el producto. *En los años 90, la flexibilidad en la manufactura se ha convertido en la piedra angular de la estrategia de las operaciones y los procesos de producción que se están diseñando cada vez más se basan en esta piedra angular.*

La automatización flexible y otras formas de automatización requieren, sin embargo, de mayor inversión, y es cada vez más evidente que los enfoques tradicionales para justificar estas enormes inversiones no son los adecuados.

JUSTIFICACIÓN DE LOS PROYECTOS DE AUTOMATIZACIÓN

Existe una creciente evidencia que durante varias décadas las políticas de administración estadounidense y los enfoques de presupuestación de capital han llevado sólo a pequeñas mejoras en los productos y procesos de producción existentes.

La tasa de rotación de nuestros gerentes ha sido tan elevada que ha imposibilitado la mejoría a largo plazo de los productos y los cambios en los procesos de producción. A menudo son necesarios cinco años o más para modificar drásticamente diseños de productos y para automatizar plantas. No ha habido grandes incentivos para los gerentes, que sólo planean quedarse en una empresa durante unos cuantos años, para comprometerse en estos proyectos a largo plazo.

El periodo de recuperación, el valor presente neto, la tasa interna de rendimiento y otros procedimientos convencionales de presupuestación de capital pueden, cuando se usan en forma individual, ser herramientas inadecuadas para fundamentar decisiones importantes de diseño y rediseño de productos y procesos. Estas herramientas tienden a hacer que los gerentes expandan instalaciones con tecnología existente, en vez de construir nuevas instalaciones con nuevas tecnologías de producción, por lo que las empresas acaban teniendo enormes instalaciones de producción, pesadas y muy centralizadas, basadas en tecnologías de producción obsoletas.

La inversión en innovaciones en la tecnología de productos y procesos debe sacar del contexto de forma de decisiones de inversiones de proyectos individuales. Más bien, debe verse la inversión en tecnología de los productos y proyectos como una elección estratégica a largo plazo para la empresa. Estas elecciones, igual que otras decisiones de importancia estratégica de los negocios, no pueden basarse en una simple fórmula de recuperación. *Aunque los rendimientos sobre la inversión seguirán siendo un criterio importante para estas decisiones de inversión, el término* ***rendimiento*** *tomará un significado nuevo y ampliado. Una mejor calidad del producto, una entrega más rápida de los pedidos de los clientes, una mayor flexibilidad en el producto y en el volumen, menores costos de producción, mayor penetración en el mercado y otras ventajas, deben incluirse como factores en futuras decisiones de presupuestación de capital.* La inversión en la tecnología de productos y de procesos

debe visualizarse como una elección estratégica para modificar la fábrica y convertirla en un arma competitiva que ayude a la corporación a tener penetración en el mercado.

ADMINISTRACIÓN DEL CAMBIO TECNOLÓGICO

Las empresas que han intentado proyectos ambiciosos de automatización han encontrado que la implementación de grandes proyectos de automatización son mucho más difíciles y complejas de lo que habían anticipado. Los proyectos de automatización siempre tardan y cuestan más de lo que se espera originalmente.

Dada la dificultad para administrar los cambios en la tecnología de la producción, ¿qué es lo que hemos aprendido sobre la forma de administrar la implementación de proyectos importantes de automatización? Se ofrecen las siguientes sugerencias:

1. **Tener un plan maestro para la automatización.** El plan deberá indicar cuáles son las operaciones a automatizar, cuándo y en qué secuencia se automatizará cada área del negocio y cómo tendrá que cambiar la organización y sus productos, la mercadotecnia y otras unidades de la empresa debido a la automatización.
2. **Reconocer los riesgos de la automatización.** Todo proyecto de automatización conlleva riesgos. Entre los que se deben tomar en consideración: el riesgo de una obsolescencia radical, el peligro de que las nuevas tecnologías no puedan protegerse y puedan transferirse fácilmente a la competencia, y la posibilidad de que una nueva tecnología de producción no pueda desarrollarse con éxito.
3. **Establecer un nuevo departamento de tecnología de la producción.** Esta unidad difundirá información sobre la nueva tecnología, se convertirá en promotor de la adopción de la nueva tecnología, guiará la educación y capacitación de los demás sobre la nueva tecnología, y proporcionará la asistencia técnica necesaria para la instalación e implementación del equipo de tecnología avanzada.
4. **Asignar tiempo suficiente para la terminación de proyectos de automatización.** Debe asignarse tiempo suficiente para aprender cómo instalar, herramentar, eliminar errores, programar y de alguna forma dejar una máquina automatizada en su velocidad de producción. Hay mucho que aprender y siempre se tarda más de lo esperado. Un experto en automatización sugirió recientemente: "Estime cuánto espera tardar y a continuación multiplíquelo por tres." El punto clave: *Lo que uno aprende sobre la implantación de un proyecto de automatización debe aplicarse al siguiente proyecto. Existe una nueva tecnología asociada con la implantación de proyectos de automatización y ésta se aprende poco a poco.*
5. **No intentar automatizar todo a la vez.** Los problemas en el equipo automatizado son inevitables. Intente sincronizar los proyectos de forma que lo que se aprenda en un proyecto pueda aplicarse en otro. Al permitir un amplio tiempo, se reducirá la frecuencia de fechas de entrega fallidas, la frustración en la organización y la presión para reducir los plazos del programa. Con la sincronización de los proyectos, los recursos de una organización se pueden enfocar más a uno o dos proyectos a la vez, incrementando por lo tanto la posibilidad de éxito.
6. **Las personas son la clave para que los proyectos de automatización tengan éxito.** Si la automatización se está planeando a nivel estratégico, una de las actividades continuadas debe ser la capacitación e instrucción de todos dentro de la organización, en lo que se refiere a la tecnología avanzada de la producción. Una participación frecuente e intensa de todo el personal involucrado debe acompañar los proyectos de automatización. Los representantes sindicales deben incluirse con un papel activo dentro de la automatización. Los sindicatos están particularmente interesados en avisos anticipados de los puestos afectados, en el reentrenamiento y reasignación de trabajadores desplazados y en las políticas de despido asociadas con la misma.
7. **Si las empresas se mueven con demasiada lentitud en la adopción de nuevas tecnologías de producción, pudieran quedarse atrás.** Ser deliberados y cuidadosos al moverse de un proyecto de automatización a otro no le da a la empresa licencia para arrastrar los pies. Si lo hace, la competencia ganará la partida.

DESPLAZAMIENTO, CAPACITACIÓN Y REENTRENAMIENTO DE LOS TRABAJADORES

Una consecuencia de la automatización industrial es la eliminación de empleos. Por ejemplo, un trabajador puede vigilar tres robots de soldadura, donde anteriormente la soldadura necesitaba de cuatro operarios. En una oficina, una secretaria puede hacer ahora el trabajo de tres, gracias a las computadoras de procesamiento de palabras. Algunos economistas dicen que, a la larga, el número de puestos eliminados en fábricas y oficinas con la automatización será superado por los puestos nuevos creados en ingeniería, manufactura, ventas y servicio a los productos de la nueva tecnología. Aunque esto pudiera ser cierto, ¿qué ocurre en el corto plazo, qué les pasa a los trabajadores de fábrica y oficina que pierden sus puestos debido a la automatización? La respuesta es bastante obvia: son transferidos a otros puestos dentro de su empresa, pasan a otros puestos en otras empresas o se quedan sin empleo. Ninguna de estas alternativas es placentera.

Para resolver estos problemas muchas empresas han desarrollado programas de capacitación internos, en tanto que otras se apoyan en fuentes externas para la capacitación. En la última década, mientras que se han implementado muchos miles de proyectos de automatización en Estados Unidos, más y más empresas sienten que no pueden darse el lujo de *no* capacitar o reentrenar a sus empleados actuales.

En una economía fuerte, con menos demanda de trabajadores de baja capacitación y con escasez de empleados de manufactura de alta capacitación, entrenados en las nuevas tecnologías de la producción, las empresas están proporcionando a sus operarios más capacitación especializada. Northeast Tool & Manufacturing Co., un pequeño taller de herramientas de precisión en las afueras de Charlotte, Carolina del Norte, hizo que todos sus empleados se sometieran a exámenes de aptitudes, que miden todo, desde habilidades matemáticas y mecánicas, hasta liderazgo y adaptabilidad. Estas pruebas para empleados se utilizan para desarrollar una capacitación personalizada para cada trabajador. Con base en los resultados, algunos empleados se inscriben en cursos en universidades vecinas y otros toman cursos remotos a través de computadoras instaladas en la planta. Incluso otros asisten a clases vespertinas, para las que se hace venir a los profesores a la planta misma.[10]

Algunos trabajadores de oficina y planta perderán sus puestos y se encontrarán en busca de trabajo, porque no todas las compañías intervienen para retener y reentrenar a los trabajadores desplazados. Para algunos de estos trabajadores, los programas de capacitación del gobierno pueden proporcionar el reentrenamiento. La Small Business Administration, el U.S. Department of Labor y el U.S. Department of Commerce tienen programas de capacitación y de reentrenamiento de este tipo administrados a través de las empresas locales. Desafortunadamente, pudiera ser que no haya suficientes programas y algunos trabajadores tengan que enfrentar la disyuntiva de aceptar puestos sin capacitación, de salario mínimo en industrias de servicio, o quedarse desempleados. Pero el gobierno de Estados Unidos promete subsidiar y patrocinar más programas de capacitación. Una propuesta requiere que todos los años las empresas desembolsen 1.5% de su nómina en programas de capacitación. Aún así, las empresas estadounidenses se quedarían por detrás de nuestros socios comerciales industrializados. Por ejemplo, las empresas alemanas gastan en capacitación, todos los años, un promedio de 4% de los costos de nómina.[11]

Conforme se intensifique en los años venideros la tecnología, la capacitación y el reentrenamiento de empleados se tornará una responsabilidad inevitable y una carga creciente para las compañías estadounidenses.

Con este análisis como antecedente, estudiemos algunas maneras de decidir sobre alternativas de automatización.

DECISIÓN ENTRE ALTERNATIVAS DE AUTOMATIZACIÓN

Al considerar los gerentes las decisiones de automatización, ordinariamente deberán tener en cuenta varias alternativas. Aquí presentamos tres enfoques de uso común en la industria actual: análisis económico, enfoque de la escala de calificación y el enfoque de calificaciones relativas agregadas.

ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis económico será siempre un factor importante, si no predominante, para seleccionar entre alternativas de automatización, pero también deben considerarse otros factores. La incorporación de una diversidad de factores en estas decisiones requiere el uso de enfoques diferentes.

ENFOQUE DE LA ESCALA DE CALIFICACIÓN

Los gerentes que toman decisiones de automatización saben que deben tomarse en consideración los siguientes factores de importancia:

1. **Factores económicos**. Dan a los gerentes alguna idea del impacto *directo* de cada una de las alternativas de automatización sobre la rentabilidad. Aunque el enfoque pudiera ser sobre flujos de efectivo, costos fijos anuales, costo variable por unidad, costo unitario promedio de producción o costos de producción anuales totales a los niveles de producción pronosticados, la intención es determinar el impacto directo sobre la rentabilidad. Para este fin, a menudo se utiliza el análisis de punto de equilibrio y los análisis financieros.
2. **Efecto sobre la penetración en el mercado.** ¿De qué manera las alternativas de automatización probablemente afectarán el mercado? Algunas alternativas requieren rediseño del producto y especialización del mismo, que podrán afectar las ventas. Aunque algunas alternativas dan la oportunidad de una mayor diversidad de productos y de un mayor atractivo para los clientes, el efecto neto de estos cambios sobre la penetración en el mercado es una medida difícil de obtener. Sin embargo, los efectos están ahí y deben tomarse en consideración para este tipo de decisiones.
3. **Efecto en la calidad del producto**. ¿De qué manera las alternativas de automatización probablemente afectarán la calidad del producto? La medición de este efecto no es fácil. Las tasas de desperdicio, los cambios en la penetración en el mercado, los costos de producción y otras medidas, representan esfuerzos para ligar de manera *indirecta* los cambios en la calidad del producto, resultado de las alternativas de automatización, con la rentabilidad.
4. **Efecto sobre la flexibilidad en la manufactura**. ¿De qué manera las alternativas de automatización probablemente afectarán la flexibilidad en productos y volúmenes? Este factor es cada vez más importante, ya que los ciclos de vida de los productos se reducen y las organizaciones competidoras dan a los consumidores oportunidades de ordenar productos con características diseñadas específicamente para ellos. Las medidas de flexibilidad en la manufactura son extremadamente difíciles de desarrollar. El costo de los cambios en máquinas, los costos de mano de obra en tiempo extra y los cambios en la penetración en el mercado son medidas que pueden utilizarse para evaluar el efecto de las alternativas de la automatización sobre la flexibilidad en la manufactura.
5. **Efecto en las relaciones laborales**. ¿De qué manera las alternativas de automatización probablemente afectarán a los trabajadores, su sindicato y la relación entre gerencia y fuerza de trabajo? La cantidad de trabajadores que se despedirá, el monto de capacitación y reentrenamiento requeridos y la disponibilidad de trabajadores con las habilidades requeridas para operar el equipo de automatización, son factores que afectan la elección de las alternativas de automatización.
6. **El tiempo requerido para la implantación**. ¿Cuánto tiempo requerirán las alternativas de automatización para implementar las máquinas y sistemas automatizados? Las alternativas pudieran tener diferentes necesidades de tiempo para su implementación, ya que las alternativas tienen niveles de tecnología diferentes, el personal de la organización pudiera no estar familiarizado con algunas clases de tecnología y las alternativas requieren diferentes tipos de modificaciones en el resto de sistema de producción.
7. **Efecto de la implantación sobre la producción en marcha**. Si la automatización va a reemplazar operaciones de producción existentes o si la automatización debe compartir instalaciones con las operaciones existentes, ¿de qué manera las alternativas de automatización afectarán la producción en marcha existente? Es un hecho de la vida real que la producción debe continuar a pesar de los proyectos de automatización. Los productos deben embarcarse, ya que simplemente los clientes no esperarán debido a proyectos de automatización. Algunas alternativas de automatización afectan menos las operaciones en marcha porque van a ser instaladas en ubicaciones diferentes, no necesitan usar equipo de producción existente o de alguna otra manera, no interactúan con la producción en marcha existente.
8. **Monto del capital requerido**. ¿Cuál es el monto del capital requerido para cada alternativa de automatización? Si el capital está escaso, como casi siempre ocurre, este factor puede ser una consideración predominante en las decisiones de automatización.

TABLA 5.3 ENFOQUE DE LA ESCALA DE CALIFICACIÓN PARA COMPARAR ALTERNATIVAS DE AUTOMATIZACIÓN

Factores de automatización	Línea de flujo automatizada	Sistema de manufactura flexible
Factores económicos		
Costos anuales de operación (dólares)	4,955,900	5,258,100
Costos de producción por unidad (dólares)	59.40	63.02
Otros factores		
Penetración en el mercado	5	4
Calidad del producto	4	4
Flexibilidad en el producto	2	4
Flexibilidad en el volumen	4	2
Relaciones laborales	3	3
Tiempo de implantación	3	4
Operaciones existentes	5	5
Necesidades de capital	3	4

Nota: Se utiliza una escala de calificación de cinco puntos: 5 = excelente, 4 = bueno, 3 = promedio, 2 = debajo del promedio, y 1 = pobre.

Dado que factores como éstos pudieran ser todos a la vez importantes para decidir entre alternativas de automatización, ¿de qué manera pueden los gerentes tomar en consideración, de manera simultánea, todos ellos? La tabla 5.3 ilustra la manera en que se puede utilizar el **enfoque de la escala de calificación** al intentar un gerente decidir entre dos alternativas de automatización.

Podemos ver en la tabla 5.3 que si solamente se tomaran en consideración factores económicos, se preferiría la línea de flujo automatizada, pero si se toman en consideración otros factores, la elección no resulta tan clara. El sistema flexible de manufactura obtiene mejor calificación en flexibilidad en el producto, en el tiempo de implementación, en requerimientos de capital y la línea de flujo automatizada mejor calificación en factores económicos, penetración en el mercado y flexibilidad en volumen. En aquellos casos en que una alternativa no sea claramente superior en todos los factores, la elección apropiada dependerá de cuál de los factores tiene mayor peso para los gerentes que toman la decisión.

El enfoque de la escala de calificación requiere que quienes toman la decisión sopesen los factores de cada alternativa, procesen esta información a través de sus muy personales cálculos mentales y lleguen a una calificación general para cada alternativa de automatización. Veamos ahora otro procedimiento que directamente llega a la clasificación general de cada alternativa.

ENFOQUE DE LAS CALIFICACIONES RELATIVAS AGREGADAS

La tabla 5.4 ilustra el enfoque de las **calificaciones relativas agregadas** para la misma decisión ilustrada en la tabla 5.3, pero este enfoque de las calificaciones agregadas generales para cada alternativa de automatización se desarrolla como parte del análisis.

Podemos ver de la tabla 5.4 que el sistema flexible de manufactura parecería ser una elección ligeramente mejor, 0.818 en comparación con 0.770. Este enfoque requiere que los gerentes digan cuáles son los factores a considerar en la decisión y los coeficientes de ponderación de cada factor (ponderación de factores) *antes de tomar la decisión*. Estas consideraciones representan una estructura de decisión impuesta sobre quienes toman la decisión, que debe ser superior a un valor puramente subjetivo de las alternativas. Se supone que cada alternativa incluida en el análisis cumple con ciertas calificaciones. Por ejemplo, si una alternativa necesita tanto capital que resulta impráctica su consideración, no debería incluirse en el análisis. En otras palabras, todas las alternativas que sobrevivan hasta este punto deben ser fundamentalmente sanas y factibles. Con este enfoque estamos intentando determinar cuál es la superior.

Los enfoques para decidir entre alternativas de automatización que hemos analizado han supuesto que estamos intentando lograr varios objetivos simultáneamente. En años recientes se han

TABLA 5.4 ENFOQUE DE LAS CALIFICACIONES RELATIVAS AGREGADAS PARA COMPARAR ALTERNATIVAS DE AUTOMATIZACIÓN

		Línea de flujo automatizada			Sistema flexible de manufactura		
Factores de automatización	**Ponderación de factores**	**Datos económicos**	**Califi-caciones**	**Calificaciones ponderadas**	**Datos económicos**	**Califi-caciones**	**Calificaciones ponderadas**
Costos unitarios de producción	0.30	$59.40	1.000*	0.300	$63.02	0.943*	0.293
Penetración en el mercado	0.10		1.000	0.100		0.800	0.080
Calidad del producto	0.10		0.800	0.080		0.800	0.080
Flexibilidad en el producto	0.20		0.400	0.080		0.800	0.160
Flexibilidad en el volumen	0.05		0.800	0.040		0.400	0.020
Relaciones laborales	0.05		0.600	0.030		0.600	0.030
Tiempo de implantación	0.10		0.600	0.060		0.800	0.080
Operaciones existentes	0.05		1.000	0.050		1.000	0.050
Necesidades de capital	0.05		0.600	0.030		0.700	0.035
Calificaciones agregadas totales				.770			.818

* Estas calificaciones se determinan dividiendo el costo más bajo de producción unitario entre los costos reales unitarios de producción: $59.40/$59.40 = 1.000, y $59.40/$63.02 = 0.943; todos las demás calificaciones para los factores se estiman en base a una calificación máxima de 1.000, siendo mejor la más alta.

desarrollado una serie de técnicas de programación matemática para analizar este tipo de problemas. Se han aplicado a estos problemas la programación de objetivos y la programación multiobjetivo, pero estas técnicas quedan fuera del alcance de este curso.

RECOPILACIÓN:

LO QUE HACEN LOS PRODUCTORES DE CLASE MUNDIAL

Los productores de clase mundial consideran la tecnología avanzada de producción como un arma competitiva para lograr penetración en los mercados mundiales. Los productores estadounidenses utilizan la automatización de la producción para aumentar aún más sus puntos fuertes de calidad del producto y de servicio al cliente y para hacer sus sistemas de producción más competitivos, en flexibilidad y costo. En la búsqueda de este objetivo, los productores de clase mundial grandes y pequeños están:

- Diseñando productos para que sean *amigables a la automatización*; reduciendo la cantidad de ensambles, el número de sujetadores, permitiendo una inserción vertical, componentes autoalineantes y aumentando la calidad de los componentes.
- Utilizando CAD/CAM para diseñar e introducir productos en la producción. El costo y tiempo requerido para diseñar e introducir productos se reduce de manera importante.
- Adoptando selectivamente sistemas automatizados de producción para planear y llevar a cabo, con cuidado, los proyectos de automatización: FMS, ASRS y sistemas de ensamble automatizados. También, integrando máquinas automatizadas avanzadas con producción de tipo tradicional: centros automatizados de maquinado, grupos de robots de soldadura y pintura automatizada.
- Convirtiendo sistemas de *automatización dura* a una automatización más flexible.
- Poniendo en duda la creencia muy común de que para lograr un bajo costo son necesarias corridas de volumen elevado de productos idénticos y pasar hacia un ideal de sistemas de producción flexibles, capaces de producir pequeños lotes de productos de acuerdo con especificaciones especiales de los clientes, todo ello con un muy breve previo aviso.
- Adoptar un sistema CIM total. Todas las fases del negocio quedan integradas desde una base de datos común.
- Disfrutar muchas de las características de desempeño de la *fábrica del futuro*: elevada calidad del producto, elevada flexibilidad, entrega rápida de los pedidos de los clientes, cambio en la economía de la producción y sistemas guiados e integrados por computadora.
- Mejorar los sistemas de control de la producción computarizados para que se planee y se lleve un mayor control de los pedidos de clientes, dando así un mejor servicio, reduciendo los costos y aumentando la flexibilidad.
- Operando desde un plan para la automatización: reconociendo los riesgos de la misma, organizando el departamento de tecnología de la producción y dando el tiempo suficiente para que se completen los proyectos

de automatización, no intentando automatizar todo de una vez, reconociendo que son las personas las que hacen que los proyectos de automatización tengan éxito y no moviéndose con demasiada lentitud ante la adopción de nuevas tecnologías.

- Justificar proyectos de automatización con base en varios factores. La economía, la penetración en el mercado, la calidad, la flexibilidad, las relaciones laborales, el tiempo requerido, el efecto sobre la producción actual y el monto del capital requerido pueden ser factores de importancia.
- Capacitar y formar equipos de personas capaces de conceptualizar, diseñar y utilizar nueva tecnología de la producción, y de fomentar la capacidad de administración para desarrollar e incrementar nuevos procesos de producción.

PREGUNTAS DE REPASO Y ANÁLISIS

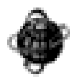
1. Tradicionalmente, la automatización ha significado el reemplazo del esfuerzo humano con el de las máquinas. Critique este punto de vista de la automatización.
2. ¿Qué beneficios deben esperarse de los proyectos de automatización? Analice el impacto general sobre las organizaciones por los ahorros de mano de obra obtenidos a través de la automatización.
3. ¿Cuáles son las diferencias entre máquinas N/C, CN/C, y DN/C?
4. Describa las condiciones que apoyarían a la instalación de un robot para pintura automotriz.
5. Describa y dé un ejemplo de cada una de estas máquinas automatizadas: a) aditamentos automáticos, b) control numérico (N/C), c) robots, d) inspección automatizada del control de calidad, e) sistemas automáticos de identificación y f) controles automatizados de procesos.
6. Describa y dé un ejemplo de cada uno de estos tipos de sistemas de producción automatizados: a) líneas de flujo automatizadas, b) sistemas de ensamble automatizados, c) sistemas flexibles de manufactura (FMS) y d) sistemas automatizados de almacenamiento y recuperación (ASRS).
7. ¿Qué quiere decir *automatización dura*? Explique las diferencias entre automatización dura y *automatización flexible*.
8. Explique las razones por las que los productos deben rediseñarse, si en su producción se van a utilizar sistemas automatizados de ensamble.
9. Defina y describa: a) CAD, b) CAM, c) CAD/CAM, d) CIM y e) las características de las fábricas del futuro.
10. ¿Qué empresas son las productoras líder de software ERP?
11. Dé tres ejemplos del uso de la automatización en los servicios, que usted conozca.
12. ¿Qué significa *automatización flexible*? ¿Cuáles son las cuatro razones por las cuales se puede incrementar la penetración en el mercado debido a la *flexibilidad en la manufactura*? Nombre tres máquinas o sistemas de producción que proporcionan flexibilidad en el producto.
13. Explique las dificultades para poner en práctica proyectos de automatización en negocios pequeños o durante su etapa inicial. ¿De qué manera se puede superar estas dificultades?
14. Si usted pudiera aconsejar a los gerentes que están pensando en proyectos de automatización sobre cómo justificar estos proyectos, ¿qué les diría?
15. Dé siete sugerencias de cómo administrar mejor la implantación de los grandes proyectos de automatización.
16. Defina *desplazamiento*, *capacitación* y *reentrenamiento* de los trabajadores en el contexto de la automatización. Describa programas de capacitación patrocinados por la empresa y explique su contenido y cómo funcionan.
17. Nombre y describa dos maneras de analizar las alternativas de automatización
18. ¿Cuáles son los puntos fuertes y débiles de cada una de las dos maneras de analizar las alternativas de automatización presentadas en este capítulo?
19. Identifique las condiciones de los negocios que justificarían un sistema flexible de manufactura.

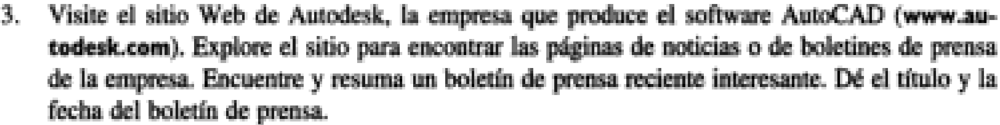
TAREAS EN INTERNET



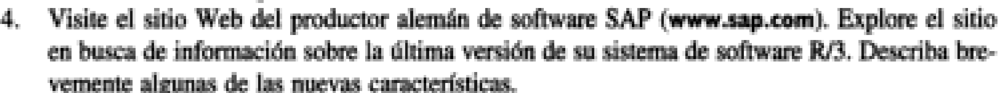
1. Busque en Internet un fabricante de robots. Describa la línea de robots de la empresa e incluya la dirección de su sitio Web.

2. Busque una empresa en Internet que se especialice en ayudar a los fabricantes con la automatización de fábricas. Describa los productos o servicios de la empresa e incluya su dirección Web.

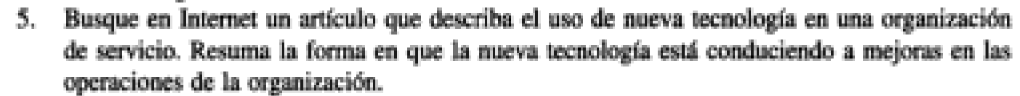




3. Visite el sitio Web de Autodesk, la empresa que produce el software AutoCAD (**www.autodesk.com**). Explore el sitio para encontrar las páginas de noticias o de boletines de prensa de la empresa. Encuentre y resuma un boletín de prensa reciente interesante. Dé el título y la fecha del boletín de prensa.



4. Visite el sitio Web del productor alemán de software SAP (**www.sap.com**). Explore el sitio en busca de información sobre la última versión de su sistema de software R/3. Describa brevemente algunas de las nuevas características.



5. Busque en Internet un artículo que describa el uso de nueva tecnología en una organización de servicio. Resuma la forma en que la nueva tecnología está conduciendo a mejoras en las operaciones de la organización.

PROBLEMAS

Proyectos de campo

1. Visite una empresa manufacturera que tenga equipo automatizado. Enliste los tipos de tecnologías de producción automatizada que usted observe. Averigüe cuál es el equipo automatizado más reciente actualmente en operación. Obtenga las respuestas a estas preguntas: ¿Cuáles fueron las principales razones de la empresa o cuál fue la justificación para la automatización del proceso? ¿Ha llenado este equipo automatizado las expectativas de desempeño y costo de la empresa? ¿Se encontraron con alguna dificultad al instalar este equipo y al hacerlo operacional? ¿Cuánto tiempo se necesitó para instalarlo y hacer que fuera operacional? ¿Se desplazaron empleados en razón de la automatización y, de ser así, fueron reasignados?

2. Visite una empresa de servicio que tenga equipos o procesos automatizados. Enliste los tipos de tecnologías o procesos automatizados que usted observe. Averigüe cuál es el equipo o proceso automatizado más reciente, actualmente en operación. Obtenga las respuestas a estas preguntas: ¿Cuáles fueron las principales razones de la empresa o cuál fue la justificación para la automatización del proceso? Esta automatización del proceso, ¿ha cumplido las expectativas de desempeño y costo de la empresa? ¿Existió alguna dificultad en la implantación de la misma? ¿Cuánto tiempo tomó implantar la automatización? ¿Se desplazaron empleados en razón de la automatización y, de ser así, fueron reasignados?

3. Visite el departamento de policía local o alguna oficina gubernamental. Inquiera sobre algún equipo o proceso automatizado que actualmente esté en operación. Obtenga las respuestas a estas preguntas: ¿Cuáles fueron las principales razones o la justificación para automatizar el proceso? Esta automatización de procesos, ¿cumple con las expectativas de desempeño o de costo del departamento u oficina? ¿Apareció alguna dificultad en la implantación de la automatización? ¿Cuánto tiempo tomó implantar la automatización? ¿Se desplazaron empleados en razón de la automatización, y de ser así, fueron reasignados?

Análisis económico

4. Kidsplay Toy Company necesita una nueva máquina remachadora para reemplazar su máquina antigua, a la cual ya no se puede dar mantenimiento. La empresa necesita decidir entre una máquina remachadora semiautomática y una máquina remachadora totalmente automática. La máquina semiautomática tendría un costo fijo anual de 4,800 dólares y un costo variable por remache de 0.23 dólares. La máquina totalmente automatizada tendría un costo fijo anual de 12,200 dólares y un costo variable por remache de 0.18 dólares.
   a. ¿Para qué rango de remaches anual sería cada una de las máquinas la preferida, con base únicamente en el costo anual?
   b. ¿Qué otros factores deberían ser considerados al tomar esta decisión?

5. Great State Bank necesita una nueva máquina clasificadora de cheques y está considerando dos marcas, Vandine y Murcheck. La máquina Vandine está muy automatizada y tendría un costo anual fijo de 8,500 dólares y un costo variable de 35 dólares por clasificación. La máquina Murcheck está menos automatizada, requiriendo más tiempo de empleado, con un costo fijo anual de 7,000 dólares y un costo variable de 55 dólares por clasificación. El banco lleva a cabo sólo una clasificación al día y opera 248 días al año. Utilice un análisis de punto de equilibrio para estudiar este problema.
   a. Calcule el costo total anual de cada máquina. Con base sólo en el costo anual, ¿cuál sería la máquina preferida?
   b. ¿Para cuántas clasificaciones por año le resultaría al banco indiferentes las dos máquinas?
   c. ¿Qué otros factores deben considerarse al tomar esta decisión?

6. KinderRead Inc., produce material para ayudar a los padres de familia a enseñar a los estudiantes de jardín de niños a leer. La máquina empacadora de la empresa ya no puede manejar el volumen actual de producción, por lo que se están considerando dos nuevas máquinas. La máquina A está más automatizada que la máquina B, y también tiene un costo inicial más elevado. El costo anual fijo es de 5,500 dólares para la máquina A y de 4,000 dólares para la máquina B. El costo variable por unidad empacada es de 1.60 dólares para la máquina A y de 1.80 dólares con la máquina B.
   a. Si el volumen anual de producción es de 9,000 unidades, ¿qué máquina sería la preferida, con base sólo en el costo anual?
   b. ¿Para qué rango de volumen anual de producción sería cada una de las máquinas la preferida, con base sólo en el costo anual?
   c. Si el volumen anual de producción se espera sea de 7,500 unidades, ¿de qué manera deberá la compañía decidir qué máquina comprar?

7. Están disponibles dos opciones de proceso para producir un nuevo producto, una semiautomatizada y una totalmente automatizada. La opción semiautomatizada tendría un costo fijo anual de 450,000 dólares y un costo variable por unidad de 580 dólares. La opción totalmente automática tendría un costo fijo anual de 800,000 dólares y un costo variable por unidad de 375 dólares. El precio de venta del producto sería de 875 dólares por unidad. Los pronósticos de demanda para el nuevo producto todavía no están disponibles.
   a. Con base sólo en el costo anual, ¿para qué rango de volumen anual producido sería preferible cada una de las opciones de proceso?
   b. ¿Cuál es el volumen de punto de equilibrio para la opción totalmente automatizada?
   c. ¿Cuál sería la utilidad anual para la opción semiautomatizada, si el año que viene se produjeran y vendieran 2,150 unidades? ¿Cuál sería la utilidad anual para la opción totalmente automatizada?

8. Prestige Machine Works manufactura componentes para la industria aeronaval. A fin de hacerse más competitiva, la compañía ha decidido actualizar su tecnología de producción. Se están considerando tres tecnologías alternativas: manufactura celular (CM), máquinas de control numérico (N/C) y un sistema flexible de manufactura (FMS). Se espera que el volumen anual de producción sea de por lo menos 65,000 unidades al año durante los siguientes años, pero podría ser tan elevado como de 85,000 unidades al año. Los costos para las tres alternativas son:

	CM	N/C	FMS
Costo fijo anual (dólares)	85,000	230,000	410,000
Costo variable por unidad (dólares)	42.50	40.30	39.10

   a. Basándose en el costo anual, ¿a qué volumen anual le resultaría indiferente a la empresa las alternativas CM y N/C? ¿Y las alternativas N/C y FMS?
   b. Determine el costo anual total de cada alternativa, si el volumen total es de 65,000 y si el volumen anual es de 85,000.

c. Sólo con base en la información obtenida, ¿qué tecnología de producción recomendaría usted para la empresa? ¿Por qué?
d. ¿Qué otros factores deberán considerarse al tomar esta decisión?

9. Crystal Machining Company produce componentes de titanio para satélites. Debido a la creciente competencia, la empresa ha decidido modernizar sus instalaciones de producción. Se están considerando tres tecnologías de producción alternativas: manufactura celular (CM), máquinas de control numérico (N/C), y un sistema flexible de manufactura (FMS). El volumen anual de producción se espera esté entre las 15,000 y 20,000 unidades al año durante los siguientes años. Los costos para las tres alternativas son:

	CM	N/C	FMS
Costo fijo anual (dólares)	58,000	113,000	250,000
Costo variable por unidad (dólares)	189	175	168

a. Con base en el costo anual, ¿a qué volumen anual le resultaría indiferente a la empresa entre las alternativas CM y N/C? ¿Y entre las alternativas N/C y FMS?
b. Determine el costo anual total de cada alternativa, si el volumen anual es de 15,000 y si el volumen anual es de 20,000.
c. Basándose sólo en la información proporcionada, ¿qué tecnología de producción recomendaría usted para la empresa? ¿Por qué?
d. ¿Qué otros factores deberían ser considerados al tomar esta decisión?

10. Alice Li es la gerente de operaciones en una empresa de recolección de basura. Necesita decidir entre dos tecnologías alternativas para actualizar todos los camiones y recipientes de basura de la empresa. La alternativa A le costaría a la empresa inicialmente 400,000 dólares, pero le ahorraría 80,000 dólares al año, en comparación con la tecnología actual. La alternativa B costaría a la empresa 800,000 dólares y ahorraría a la misma 220,000 dólares al año. La vida esperada de las tecnologías es de 10 años. (Todas las estimaciones son después de impuestos y descontadas. Quizás antes de intentar resolver este problema desee usted repasar el método de recuperación de algún libro de finanzas o de alguna otra fuente.)
a. Calcule el periodo de recuperación correspondiente a cada alternativa de tecnología.
b. Durante los siguientes 10 años, ¿cuáles serían los ahorros totales netos para la empresa en cada alternativa de tecnología?
c. ¿Qué otros factores deberían considerarse al tomar esta decisión?

11. Henry Hughes es gerente de operaciones de una clínica de salud. Henry está intentando decidir qué máquinas para análisis de sangre debe adquirir. El modelo A realiza análisis de sangre rápidamente, con menos participación de empleados. El modelo B está menos automatizado y requiere más tiempo de empleado para realizar los análisis de sangre. Las dos máquinas tienen una vida esperada de cinco años. La máquina A costaría inicialmente 8,000 dólares, y la B 5,000 dólares. Los ahorros en costo para la clínica aparecen abajo para cada máquina cada año. (Todas las estimaciones son después de impuestos y descontadas. Quizás antes de intentar resolver este problema desee usted repasar el método de recuperación de algún libro de finanzas o de alguna otra fuente.)

Año	Ahorros anuales Maquina A (dólares)	Ahorros anuales Maquina B (dólares)
1	3,000	2,000
2	2,300	1,800
3	2,000	1,300
4	1,800	1,000
5	1,600	600

a. Calcule el periodo de recuperación de cada máquina.

b. Durante los siguientes cinco años, ¿cuáles serían los ahorros totales netos para la empresa, con cada una de las máquinas?
c. Basado sólo en el análisis económico, ¿qué máquina recomendaría usted? ¿Por qué?
d. ¿Qué otras factores deberán considerarse al tomar esta decisión?

12. José Rodríguez está a cargo de seleccionar una nueva impresora de alto volumen para su empresa. Dos impresoras disponibles, cada una de tecnología diferente, podrían llenar las necesidades de la empresa. Cada una de las impresoras tiene una vida esperada de seis años. La impresora Alpha costaría inicialmente 20,000 dólares y la impresora Beta 30,000 dólares. Los ahorros descontados, después de impuestos en comparación con la impresora actual se muestran a continuación, para cada una de las impresoras cada año. (Quizás antes de intentar resolver este problema desee usted repasar el método de recuperación de algún libro de finanzas o de alguna otra fuente.)

	Ahorros anuales (dólares)	
Año	**Alfa**	**Beta**
1	7,500	8,100
2	6,000	6,400
3	5,000	5,500
4	4,000	4,300
5	3,000	3,200
6	2,000	2,100

a. Calcule el periodo de recuperación de cada una de las impresoras.
b. Durante los siguientes seis años, ¿cuáles serían los ahorros totales netos para la empresa, con cada una de las impresoras?
c. Basado únicamente en el análisis económico, ¿qué máquina recomendaría usted? ¿Por qué?
d. ¿Qué otras factores deberán considerarse al tomar esta decisión?

Enfoque de la escala de calificación

13. Weston Flyrod Company manufactura cañas de pescar para los mercados estadounidense y europeo. La empresa desea actualizar su proceso de envoltura de grafito. Tonya Johnson es una analista de producción, a quien se ha encomendado la tarea de recomendar una de dos tecnologías alternativas para la aplicación del grafito. Cada una de ellas tiene sus puntos fuertes y débiles. Se ha preparado la siguiente información, como ayuda en la comparación:

Factores	Alternativa 1	Alternativa 2
Factor económico:		
Costo anual de operación (dólares)	85,000	125,000
Otros factores:		
Calidad del producto	4	5
Flexibilidad en el producto	2	5
Flexibilidad en el volumen	4	3
Necesidades de mantenimiento	5	2
Necesidades de capacitación	4	2
Tiempo de implantación	5	2

Nota: Se utiliza una escala de calificación de cinco puntos: 5 = excelente, 4 = bueno, 3 = promedio, 2 = por debajo del promedio y 1 = pobre.

¿Qué alternativa de tecnología piensa usted que la señora Johnson debería recomendar? ¿Por qué?

14. Missoula Steel Company corta piezas diseñadas, según el cliente, de placa de acero. La tecnología actual de la empresa permite cortar placas de acero hasta con un espesor de 1/4 de pulgada. La empresa desearía adquirir una nueva máquina cortadora, con una tecnología

EJEMPLO 7.1

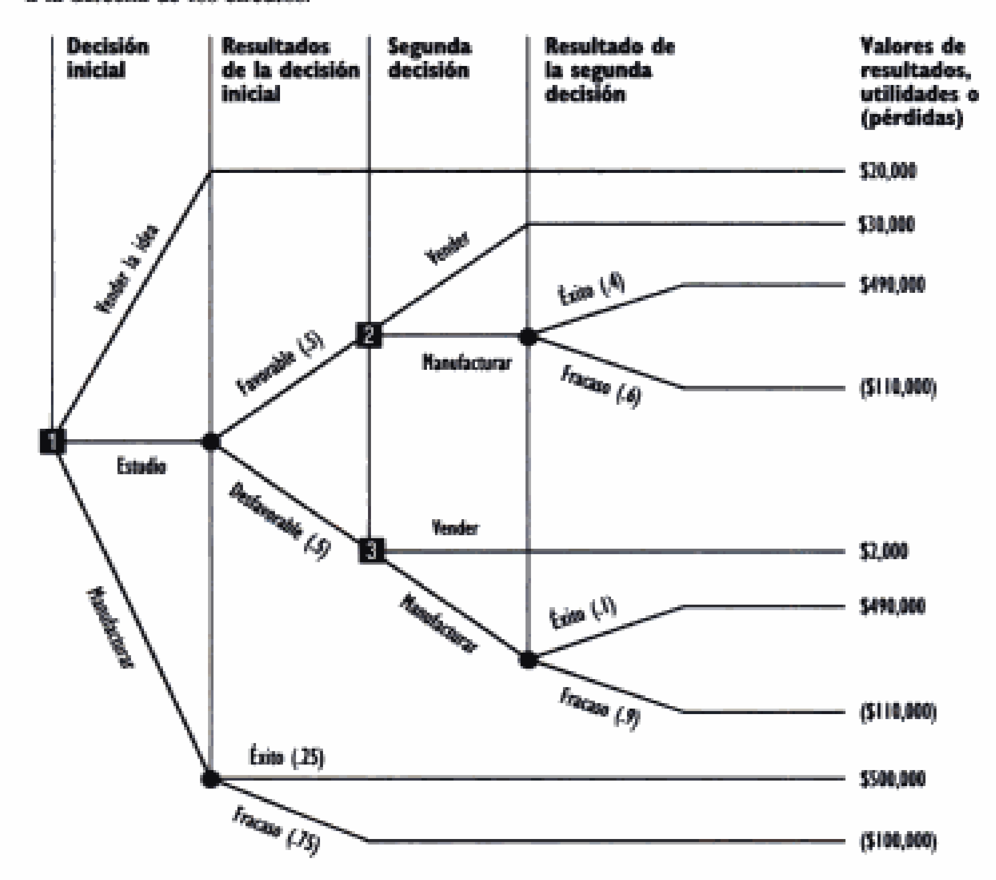
ÁRBOL DE DECISIONES: ¿MANUFACTURAR O NO MANUFACTURAR?

Biltmore Manufacturing ha desarrollado un nuevo producto prometedor. La gerencia de la empresa encara tres opciones: puede vender la idea del nuevo producto a otra compañía por 20,000 dólares; puede contratar un asesor para que estudie el mercado y tomar una decisión o puede obtener financiamiento para la construcción de instalaciones y manufacturar y comercializar dicho producto.

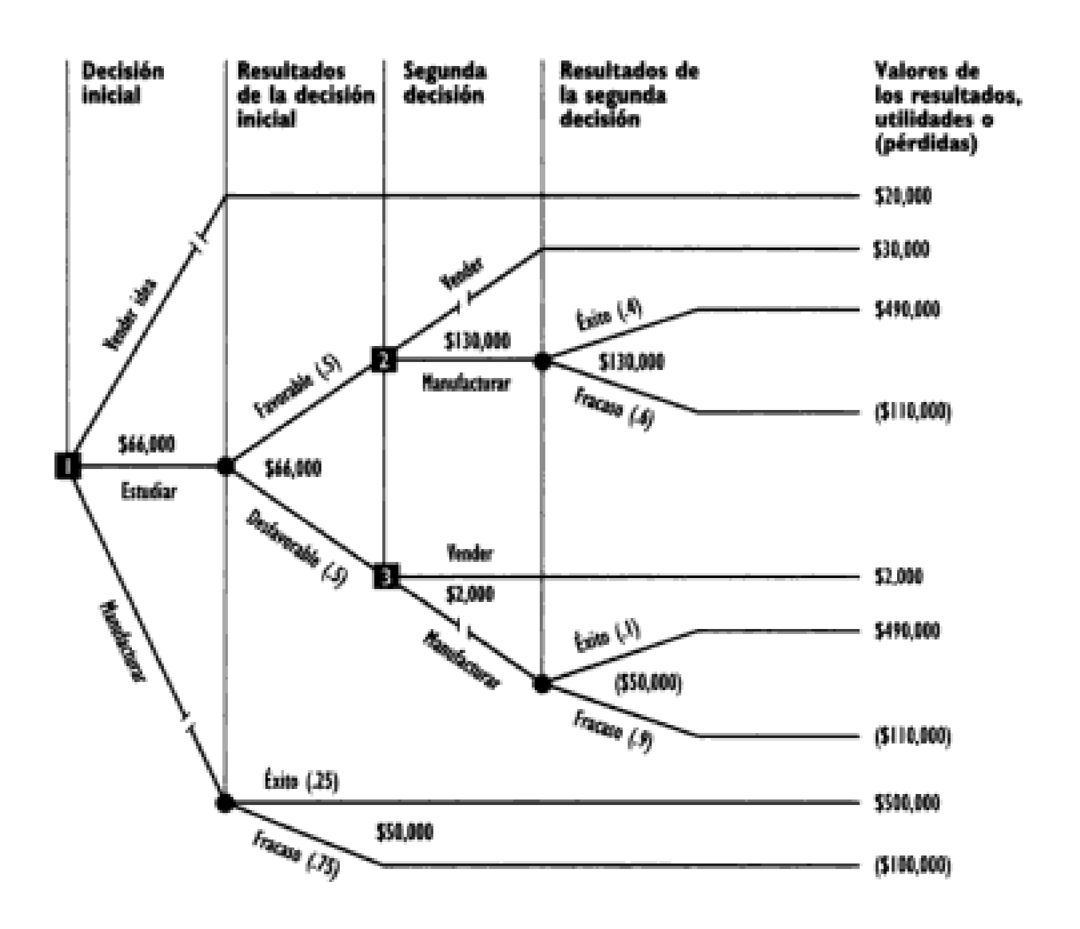
El estudio le costará a Biltmore 10,000 dólares, y la administración cree que existe una probabilidad de 50-50 de que éste encuentre que el mercado es favorable. Si el estudio indica desfavorable, la gerencia calcula que aún así podrá vender la idea en 12,000 dólares; si el estudio indica favorable, calcula que podrá vender la idea en 40,000 dólares. Pero incluso si se encuentra un mercado favorable, la oportunidad de tener un producto final de éxito es aproximadamente dos de cada cinco. Un producto de éxito tendría un rendimiento de 500,000 dólares. Incluso ante un estudio no favorable, un producto de éxito se puede esperar que ocurra una vez cada diez introducciones de nuevos productos. Si la gerencia de Biltmore decide manufacturar el producto sin estudio, sólo habrá una oportunidad en cuatro de que tenga éxito. Una falla del producto costará 100,000 dólares. ¿Qué debería hacer Biltmore?

SOLUCIÓN

1. Dibuje un árbol de izquierda a derecha con cuadros (□) como las decisiones y círculos (○) para los eventos aleatorios. Estas decisiones y eventos aleatorios a menudo se conocen como **nodos u horquillas**. Escriba los valores de los resultados (pérdidas o ganancias) sobre el margen derecho, y la probabilidad de la ocurrencia de los sucesos entre paréntesis en las ramas, a la derecha de los círculos.



2. Procediendo de derecha a izquierda, calcule el valor esperado (EV) en cada círculo de los eventos aleatorios, hasta llegar a la segunda decisión. Escriba el valor de EV a la derecha de cada círculo. Por ejemplo, el EV de los eventos aleatorios de manufactura —decisión [2]— se calcula así: EV = 0.4(490,000 dls) + 0.6(−110,000 dls) = 130,000 dls. Al continuar de derecha a izquierda, decida cuál de las alternativas para la segunda decisión ([2] y [3]) tiene el EV más elevado. Escriba el EV seleccionado a la derecha de los cuadros de decisión y pode (–/ /–) todas las demás ramas. Continúe trabajando de derecha a izquierda como antes, y calcule el EV para la decisión inicial. Por ejemplo, el EV para la alternativa del estudio se calcula como sigue: EV = 0.5(130,000 dls) + 0.5(2,000 dls) = 66,000 dólares.



3. El EV de la decisión inicial es 66,000 dólares. La secuencia de decisiones se deduce al seguir las ramas no podadas del árbol de izquierda a derecha: estudio, si favorable, manufacturar; si desfavorable, vender.

Utilice el enfoque de las calificaciones relativas agregadas para comparar las dos alternativas de tecnología. ¿Qué alternativa recomendaría usted al señor Lefleur? ¿Por qué?

CASOS

GOLDEN KERNAL PROCESSING COMPANY I

Delana Lightfoot es analista de producción en la planta de procesamiento de Golden Kernal, que procesa maíz en grano. El proyecto actual de Delana es evaluar diferentes niveles de automatización para la inspección de control de calidad de los granos de maíz. La opción 1 es asignar una cantidad de empleados a lo largo de la banda transportadora, para inspeccionar manualmente los granos de maíz conforme pasan y seleccionar los granos pequeños o de distinto color. La opción 2 involucra utilizar menos empleados que sólo revisan buscando granos de color distinto y haciendo pasar a continuación el maíz por una criba, que filtra las semillas pequeñas. La opción 3 sería adquirir una máquina totalmente automática de tecnología de punta, que utiliza cámaras de video, una estación de trabajo de computadora y pequeños impulsos de aire. Esta máquina puede inspeccionar automáticamente los granos individuales de maíz, por lo que se refiere a tamaño y color, conforme la banda transportadora mueve por la máquina los granos en una sola capa. Los granos de calidad inferior se eliminan mediante un pequeño soplo de aire precisamente dirigido; conforme pasan por encima de un tubo de aire perforado.

Como Delana esperaba, los costos iniciales de cada opción varían de manera sustancial. Investigó el costo de cada una de las opciones y ha resumido la información en la tabla que sigue:

	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Costo fijo anual (dólares)	2,500	4,500	27,000
Costo variable por millar de libras (dólares)	100	80	20

Tarea

1. Con base en el costo anual, determine el volumen anual (en miles de libras) en el cual le resultaría indiferente a la empresa entre la opción 1 y la 2; entre la opción 2 y la 3, y entre la opción 1 y la 3.
2. Elabore una tabla que muestre el costo total anual de cada opción, si el volumen anual (en miles de libras) es 50, 200, 350 y 500. Circule el costo más bajo de cada volumen anual.
3. Con base sólo en el costo anual, ¿para qué rango de volúmenes anuales sería preferible cada una de las opciones?
4. ¿Qué factores distintos al costo anual deberían considerarse al tomar esta decisión?

GOLDEN KERNAL PROCESSING COMPANY II

Consulte el caso anterior (Golden Kernal Processing Company I) para una descripción de las alternativas tecnológicas. Después de analizar inicialmente los costos anuales de las tres alternativas tecnológicas, Delana Lightfoot descubrió que se había cometido un error. El costo fijo anual de la opción 2 debería haber sido 10,500 dólares, en vez de 4,500 dólares. Delana debe ahora repetir el análisis, utilizando el valor correcto. La información completa y corregida es:

	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Costo fijo anual (dólares)	2,500	10,500	27,000
Costo variable por miles de libras (dólares)	100	80	20

Tarea

1. Con base en el costo anual, determine el volumen anual (en miles de libras) en el cual le resultaría indiferente a la empresa entre la opción 1 y la 2; entre la opción 2 y la 3, y entre la opción 1 y la 3.
2. Elabore una tabla que muestre el costo total anual de cada opción, si el volumen anual (en miles de libras) es 50, 300, 350 y 500. Circule el costo más bajo de cada volumen anual.
3. Con base sólo en el costo anual, ¿para qué rango de volúmenes anuales se preferiría cada una de las opciones?
4. ¿Qué factores distintos al costo anual deberían considerarse al tomar esta decisión?

WESTERN ARIZONA UNIVERSITY

La doctora Anne González es directora de recursos de computación en Western Arizona University (WAU). La legislatura del estado ha asignado recientemente una cantidad de dinero para mejoras en computación en WAU. Los fondos deben utilizarse para actualizar la infraestructura de la red de computadoras en WAU y adquirir equipo adicional para el laboratorio de cómputo. La intención de los legisladores es proporcionar un acceso rápido por red a todas las oficinas, salones de clase, laboratorios y dormitorios de la universidad. La doctora González es responsable de recomendar qué tecnología de red de computadora será la mejor para la universidad.

Ella cree que solamente dos alternativas de tecnología de red serían adecuadas, pero la decisión de cuál es la mejor ha sido difícil. Las dos alternativas de tecnología son una red de cable de fibra óptica y una red de tecnología inalámbrica. Una red de cable de fibra óptica costaría inicialmente 1.3 millones de dólares y requeriría de un desembolso anual por mantenimiento de 140,000 dólares. Una red de tecnología inalámbrica costaría inicialmente 1.9 millones de dólares y requeriría un desembolso de mantenimiento anual de 90,000 dólares.

Hay muchos otros factores importantes en la selección del tipo de tecnología de red. Cada tecnología tiene diferentes fortalezas, que beneficiarían tanto a estudiantes como al profesorado. Bajo la dirección de la doctora González, un asistente graduado preparó la siguiente información, como ayuda para la decisión:

Factores	Coeficiente de ponderación del factor	Calificaciones	
		Fibra óptica	Inalámbrico
Factor económico:			
Costo inicial (dólares)	0.10	1,300,000	1,900,000
Costo anual de mantenimiento (dólares)	0.25	140,000	90,000
Otros factores:			
Calidad de la señal de datos	0.15	1.0	0.7
Conveniencia de conexión	0.10	0.6	1.0
Velocidad de transmisión de datos	0.10	0.8	0.6
Ancho de banda para los datos	0.10	0.8	0.7
Actualización futura	0.10	0.6	0.8
Esfuerzo de capacitación	0.05	0.8	0.6
Tiempo de implantación	0.05	0.4	0.8

Nota: una calificación más elevada es mejor.

Tarea

1. Utilice el enfoque de las calificaciones relativas agregadas para comparar las tecnologías.
2. ¿Qué tecnología aconsejaría usted a la doctora González que utilizara? ¿Por qué?
3. ¿Qué otros factores deberían ser considerados en esta decisión?

NOTAS FINALES

1. Price, Robert M., "Technology and Strategic Advance". *California Management Review* 38, no. 3 (primavera 1996): 38-56.
2. Paula, Greg. "Automating Lens Manufacturing". *Mechanical Engineering* 119, no. 3 (marzo 1997): 88-91.
3. "Invasion of the Robots". *Business Week*, 3 de marzo, 1997, 74-75.
4. Groover, Mikell P. *Automation, Production Systems, and Computer Integrated Manufacturing*, pág. 171. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1987.
5. Cox, James F., III, John H. Blackstone y Michael S. Spencer, editores. APICS *Dictionary*, 8a. edición, págs. 14-15. Falles Church, VA: APICS—The Educational Society for Resource Management, 1995.
6. *Ibid.*
7. Groover, *Automation, Production Systems, and Computer Integrated Manufacturing*, págs. 721-722.
8. Green, Lee. "Gearing Up for CIM". *Information Week*, 13 de abril, 1987, 24-25.
9. Brown, Eryn. "The Best Software Business Bill Gates Doesn't Own". *Fortune*, 19 de diciembre, 1997, 242-250.
10. "The New Factory Worker". *Business Week*, 30 de septiembre, 1996, 59-68.
11. "Carpet Firm Sets Up an In-House School to Stay Competitive". *Wall Street Journal*, 5 de octubre, 1992, A1; "Old Mill Pioneers Workers Education". *New York Times*, 18 de enero, 1993, A10.

BIBLIOGRAFÍA SELECCIONADA

Beall, Michael E. y Howard M. Fulmer. *AutoCAD 14 Fundamentals*. Indianapolis, IN: New Riders Publishing, 1997.

Brown, Eryn. "The Best Software Business Bill Gates Doesn't Own". *Fortune*, 29 de diciembre de 1997, 242-250.

Cohen, Morris A. y Uday M. Apte. *Manufacturing Automation*. Chicago: Irwin, 1997.

Cox, James F., III, John H. Blackstone, Jr. y Michael S. Spencer, eds. *APICS Dictionary*, 8a. ed. Falls Church, VA: APICS—The Educational Society for Resource Management, 1995.

Groover, Mikell P. *Automation, Production Systems, and Computer Integrated Manufacturing*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1987.

Hall, George M. *The Age of Automation: Technical Genius, Social Dilemma*. Westport, CT: Praeger Publishing, 1995.

Hernández, José Antonio. *The SAP R/3 Handbook*. Nueva York: McGraw-Hill, 1997.

Kantrow, Alan M. "The Strategy–Technology Connection". *Harvard Business Review* 58 (Julio–Agosto de 1980): 6-21.

MacHover, Carl, ed. *The CAD/CAM Handbook*. Nueva York: McGraw-Hill, 1996.

Melnyk, Steven A. y Ram Narasimhan. *Computer Integrated Manufacturing*. Homewood, IL: Business One Irwin, 1992.

Monroe, Joseph. "Strategic Use of Technology". *California Management Review* (verano de 1989): 91-110.

Palmer, Roger C. *The Bar Code Book: Reading, Printing, and Specification of Bar Code Symbols*. Peterborough, NH: Helmers Publishing, 1995.

Price, Robert M. "Technology and Strategic Advantage". *California Management Review* 38, no. 3 (primavera de 1996): 38-56.

Sharpe, Simon y Deanna Wright. *10 Minute Guide to SAP R/3*. Indianapolis, IN: Que, 1997.

Shumaker, Terence M., y David A. Madsen. *AutoCAD and Its Applications Basics: Release 14*. Tinley Park, IL: Goodheart-Willcox Co., 1998.

Soloman, Sabrie. *Affordable Automation*. Nueva York: McGraw-Hill, 1996.

"Special Report: Mom y Pop Go High Tech". *Business Week*, 21 de noviembre de 1994, 82-90.

"The New Factory Worker". *Business Week*, 30 de septiembre de 1996, 59-68.

CAPÍTULO 6

ASIGNACIÓN DE RECURSOS A ALTERNATIVAS ESTRATÉGICAS



Introducción

Identificación de problemas de programación lineal

Formulación de problemas de programación lineal

Solución de problemas de programación lineal
Soluciones gráficas de programación lineal
Panorama general de otros métodos de solución para programación lineal
Método simplex • Método de transporte • Método de asignación

Problemas reales de programación lineal

Interpretación de las soluciones por computadora de los problemas de programación lineal

Recopilación: Lo que hacen los productores de clase mundial

Preguntas de repaso y análisis

Tareas en Internet

Problemas

Casos
Sun Country Farms
Integrated Products Corporation
Jane Deere Company

Bibliografía seleccionada

Asignación de proyectos de desarrollo de nuevos productos

El director de desarrollo de nuevos productos en las oficinas corporativas centrales de Integrated Products Corporation (IPC) en San José, California, está planeando los proyectos para el siguiente año. La gerencia general seleccionó cinco nuevos productos para su desarrollo el año que viene. Cada uno de los cinco proyectos se asignará a un equipo de trabajo del centro de investigación y desarrollo de San José. Se organizaron cinco equipos con gente de otros proyectos terminados, tanto de otras divisiones de IPC, como del exterior. Dadas las características y habilidades de sus miembros, y puesto que cada proyecto requiere realizar un conjunto único de tareas, determinados equipos son más adecuados para ciertos proyectos. A pesar de que el director sabe que cualquiera de los equipos pudiera terminar con éxito cualquiera de los cinco proyectos, ciertas combinaciones equipo-proyecto serán menos eficientes y más costosas. Parece no existir un esquema simple de asignación. Por ejemplo, estaría bien asignar el proyecto nuevo sobre dispositivos de memoria al equipo 3, pero también sería bueno poder asignar el equipo 3 ya sea al proyecto de la terminal gráfica o a la PC portátil. El director sabe que el consejo de directores de IPC estará monitoreando el progreso de estos proyectos, ya que se trata de una parte importante del plan estratégico a largo plazo de la corporación. También, el consejo de directores ha hecho especial énfasis en hacer saber que se espera que, en la consecución de los objetivos estratégicos a largo plazo de IPC, los gerentes utilicen sus recursos eficientemente. El problema del director es asignar cada uno de los proyectos a un solo equipo y asignar un equipo a un solo proyecto, de forma que se minimice el costo total del desarrollo de los cinco nuevos productos.

Como le ocurre al director de desarrollo de nuevos productos del relato anterior, todos los gerentes de operaciones deben utilizar tan pocos recursos como sean necesarios para lograr el máximo de sus estrategias de operaciones hasta donde sea posible. Esto es lo que los gerentes tienen en mente al decir "sacarle el máximo provecho a cada dólar". Conforme los gerentes de operaciones desarrollan sus estrategias, van tomando decisiones sobre el posicionamiento del sistema de producción, sobre el enfoque de las fábricas, sobre el diseño de productos y el desarrollo de los procesos de producción, sobre la determinación de la capacidad de producción y de la ubicación de las instalaciones, así como sobre su disposición física. En estas decisiones, inevitablemente se encontrarán que tienen que contar con recursos limitados.

Cuando nos referimos a esos recursos, estamos hablando de todo aquello que se requiere para la producción, incluyendo al personal, las máquinas y equipo, el efectivo y los fondos de capital, los materiales y suministros, los servicios públicos, el espacio de planta, el tiempo y otros recursos. Éstos son los medios necesarios para poder realizar la producción y en cada situación particular de cada gerente de operaciones, pudieran escasear uno o más de ellos. Los recursos no estuvieron siempre tan escasos como ahora. Después de terminada la Segunda Guerra Mundial la producción se tomaba como algo de todos los días. Nuevos productos se desarrollaban e introducían rápidamente en los mercados nuevos y en expansión. Se esperaba que los gerentes de operaciones produjeran los productos y servicios demandados por los clientes con un nivel de calidad aceptable, a tiempo y al costo presupuestado. En gran medida, los gerentes de operaciones estuvieron, gracias a la abundancia de los recursos existentes durante este periodo, a la altura de estas expectativas. La fuerza de trabajo superdesarrollada durante la Segunda Guerra, la acumulación de materiales y de capacidad de producción en exceso de la posguerra, se combinó para simplificar un poco más el desempeño de los puestos de los gerentes de operaciones.

Hoy, la situación es distinta y muchos de los recursos son escasos. La interrogante principal para los usuarios de estos recursos es: ¿podremos obtener las cantidades que necesitamos cuando lo necesitemos? La pregunta solía ser: ¿qué recurso tiene el precio más atractivo?

La escasez de recursos puede causar, para alcanzar los objetivos, movimientos imprevistos en las estrategias de las operaciones; además, los precios de muchos de los recursos se están elevando de manera incontrolada. Lo limitado de los recursos disponibles y su elevado precio actúan como incentivo doble para utilizarlos al máximo. Hoy día, quizás como nunca antes, los gerentes

TABLA 6.1 CINCO TIPOS COMUNES DE PROBLEMAS DE PROGRAMACIÓN LINEAL EN LA ADMINISTRACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y DE LAS OPERACIONES: CARACTERÍSTICAS TÍPICAS

Tipo de decisión	**Objetivo (¿Cuál es el principal objetivo administrativo?)**	**Variables de decisión (¿Qué información necesitamos para lograr nuestro objetivo?)**	**Restricciones (¿Qué factores nos limitan para lograr nuestro objetivo?)**
1. Mezcla de productos	Seleccionar la mezcla de productos o servicios que brinde el máximo de utilidades para el periodo de planeación.	Cuánto producir y poner en el mercado de cada servicio durante el periodo de planeación.	*Mercado*, es decir, la cantidad máxima de producto demandado y el mínimo que permitirá la política. *Capacidad*, es decir, la cantidad máxima de recursos disponibles (personal, materiales o máquinas, servicios públicos, efectivo, espacio de planta).
2. Mezcla de ingredientes	Seleccionar una mezcla de los ingredientes principales que conforman los productos finales que dé como resultado el mínimo de costo de operación para el periodo de planeación.	Cuánto utilizar de cada materia prima principal o ingrediente en el periodo de planeación.	*Mercado*, es decir, la cantidad de productos finales demandados. *Tecnología*, es decir, la relación entre ingredientes y sus productos finales. *Capacidad*, es decir, la cantidad máxima de ingredientes y de capacidad de producción disponible.
3. Transporte	Seleccionar el plan de distribución de las fuentes a los destinos con el mínimo costo de embarque durante el periodo de planeación.	Cuánto de cada producto embarcar de cada una de las fuentes a cada uno de los destinos durante el periodo de planeación.	*Requerimientos de destino*, o el mínimo o la cantidad exacta de productos requeridos en cada uno de los destinos. *Capacidad de la fuente*, o cantidad exacta o máxima de productos disponibles en cada una de las fuentes.
4. Plan de producción	Seleccionar la cantidad de productos o servicios a producirse tanto durante el tiempo ordinario como en el tiempo extra de la mano de obra, durante cada uno de los meses del año a fin de minimizar los costos por mano de obra y de tener inventario.	Cuánto producir en mano de obra ordinaria y extraordinaria durante cada mes del año.	*Mercado*, es decir, la cantidad de productos demandados cada mes. *Capacidad*, es decir, cantidad máxima de productos que se pueden fabricar con mano de obra en tiempo ordinario y extra y la maquinaria durante cada mes. *Espacio de inventarios*, es decir, la capacidad máxima de almacenamiento de cada mes.
5. Asignación	Asignar proyectos a equipos de tal forma que el costo total de todos los proyectos se minimice durante el periodo de planeación.	A qué equipo se asigna cada proyecto.	Cada proyecto debe asignarse a un equipo y cada equipo debe asignarse a un proyecto.

de operaciones entienden que las estrategias de las operaciones se han de alcanzar, a pesar de las restricciones impuestas sobre sus organizaciones por esta escasez de los recursos.

Una de las maneras en que los gerentes de operaciones determinan la mejor manera de asignar sus recursos escasos es utilizando la **programación lineal** (**LP**, por sus siglas en inglés). Los gerentes de las operaciones se encuentran ante cinco tipos comunes de problemas de programación

INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 6.1

LA PROGRAMACIÓN LINEAL REDUCE COSTOS EN AMERICAN AIRLINES

American Airlines ha recortado los pagos por penalización que debe efectuar a las tripulaciones, cuando por problemas de programación se quedan los empleados varados en los aeropuertos, desperdiciando tiempo. Los funcionarios de la aerolínea dan crédito a la programación lineal como el factor individual más importante que les permite ahorrar aproximadamente 20 millones de dólares al año.

El diseño de redes telefónicas, el diseño de rutas para aviones y programar la producción en las refinerías de petróleo son sólo unos cuantos problemas resueltos gracias a la programación lineal. La técnica, que los matemáticos empezaron a desarrollar durante la Segunda Guerra Mundial para ayudar a los jefes militares para encontrar el despliegue más eficiente de efectivos y de armamento, encara problemas con cientos e incluso miles de variables y restricciones. Detecta patrones dentro de problemas extremadamente complejos, seleccionando y analizando un número grande aunque manejable de soluciones que tienen posibilidad de ofrecer las mejores respuestas. La alternativa es enfrentarse al enorme conjunto de todas las soluciones posibles mediante prueba y error.

La programación de aerolíneas es un poderoso ejemplo del uso de la programación lineal. En American Airlines laboran 25,000 miembros de tripulaciones, con base en varias ciudades, que vuelan en ocho tipos de aeronaves. Las exigencias legales y los acuerdos contractuales limitan el tiempo de trabajo de cada miembro de las tripulaciones e imponen otras varias restricciones a la programación. Las tripulaciones que vuelan jets MD-80 de American tienen sus bases en San Francisco, Los Ángeles, Chicago, Dallas y Washington. La idea es seleccionar cada tripulación en su ciudad base y utilizar el avión para atender los muchos destinos de ciudades más pequeñas y hacer que la tripulación vuelva a su ciudad base en un lapso de tres días. La aerolínea también desea utilizar los aviones más grandes para aquellos vuelos que atraen a la mayoría de los pasajeros y a los más pequeños para vuelos menos utilizados para minimizar costos de combustible. La popularidad de las rutas puede variar, dependiendo de la hora del día.

La empresa resuelve el problema encarándolo por partes, resolviéndolo en computadora con software de programación lineal y luego reuniendo estas soluciones para elaborar su programa mensual de vuelos.

Fuente: "Advances in Higher Math Cutting Costs for Business". *Bryan-College Station Eagle*, 19 de agosto, 1990, C1, C3.

lineal: mezcla de productos, mezcla de ingredientes, transporte, plan de producción y asignación. La tabla 6.1 describe cada tipo de problema, haciendo tres preguntas sobre cada uno de ellos: ¿Cuál es el objetivo principal de la administración? ¿Qué información necesitamos para lograr nuestro objetivo? ¿Qué factores nos limitan para el logro de nuestro objetivo? Los tipos de problemas listados en la tabla 6.1 son directa o indirectamente de importancia estratégica para la administración de la producción y de las operaciones. La mezcla de productos y los problemas de asignación pueden ser de importancia estratégica directa, ya que se pueden integrar al desarrollo de la estrategia empresarial a largo plazo. Pero, como demuestra la Instantánea Industrial 6.1, para aquellas empresas de ramas extremadamente competitivas, por ejemplo American Airlines, las decisiones a mediano y a corto plazo también pueden tener importancia estratégica indirecta.

Estas decisiones en el mundo real a menudo involucran cientos y a veces miles de restricciones, gran cantidad de datos, muchos productos y servicios, muchos periodos de tiempo, numerosas alternativas de decisión y otras complicaciones. La complejidad de estas decisiones restringidas impulsó el desarrollo de métodos de programación lineal. La programación lineal es una herramienta poderosa en la administración de la producción y las operaciones, poderosa en razón a los muchos usos que los gerentes de operaciones le dan. Este capítulo se refiere a la programación lineal: cómo identificar, formular y resolver problemas de programación lineal, y cómo interpretar soluciones de programación lineal (¿qué información tendrá usted al final?). La capacidad de pensar en función de optimizar el objetivo dentro de un conjunto de restricciones en situaciones reales de decisiones en la administración de la producción y de las operaciones, definitivamente pondrán al gerente en otro nivel. Esta filosofía es la parte medular de la programación lineal.

El primer paso es identificar qué problemas son los apropiados para soluciones de programación lineal.

TABLA 6.2 **CARACTERÍSTICAS DE LOS PROBLEMAS DE PROGRAMACIÓN LINEAL EN LA ADMINISTRACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y DE LAS OPERACIONES**

1. Debe existir un objetivo único bien definido.
2. Deben existir cursos de acción alternos.
3. El logro total del objetivo debe quedar restringido por recursos escasos o por otras limitantes.
4. El objetivo y cada una de las restricciones deben quedar expresados como funciones matemáticas lineales.

IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMAS DE PROGRAMACIÓN LINEAL

Esta sección es quizás la parte más importante de este capítulo. Es fundamental tener la capacidad de identificar problemas para los que existen soluciones apropiadas de programación lineal, y esto es lo mínimo que usted deberá aprender y retener de este capítulo.

¿Cuáles son las características de los problemas adecuados para una solución de programación lineal? La tabla 6.2 delinea brevemente las cuatro características básicas del problema. Cuando se cumplen todos estos requisitos, la programación lineal puede ser una herramienta adecuada para el análisis.

Los ejemplos 6.1 y 6.2 son muestras en la administración de la producción y de las operaciones de problemas apropiados para solución de programación lineal. Siga estos ejemplos con cuidado y vea si puede identificar el objetivo, las alternativas disponibles y la naturaleza de las restricciones (las tres primeras características de los problemas de programación lineal). Por ahora no se preocupe de los requerimientos matemáticos.

Una vez que podamos discernir qué es y qué no es un problema de programación lineal, el siguiente paso será formular el problema en su formato de programación lineal.

EJEMPLO 6.1

LP-1: CÓMO IDENTIFICAR UN PROBLEMA DE PROGRAMACIÓN LINEAL DE UNA MEZCLA DE PRODUCTOS

Como parte de su proceso estratégico de planeación, Precision Manufacturing Company debe determinar para el siguiente año la mezcla de productos a manufacturar. La empresa produce dos líneas principales de productos para la industria de la construcción comercial: una línea de sierras circulares portátiles para uso pesado y una línea de sierras de mesa de precisión. Las dos líneas comparten una misma capacidad de producción y se venden a través de los mismos canales de ventas. Aunque dentro de la línea de productos existe alguna diversidad, la utilidad promedio es de 900 dólares por cada sierra circular y de 600 dólares por cada sierra de mesa. La capacidad de producción está limitada de dos maneras: capacidad de fabricación y capacidad de ensamble. Todos los meses está disponible un máximo de 4,000 horas de capacidad de fabricación; cada sierra circular requiere dos horas y cada sierra de mesa una hora. Hay disponible al mes un máximo de 5,000 horas de capacidad de ensamble y cada sierra circular requiere una hora y cada sierra de mesa requiere dos horas. El departamento de comercialización estima que existirá en el mercado para el año que viene una demanda máxima de 3,500 sierras al mes para ambas líneas de productos combinadas. ¿Cuántas sierras circulares y cuántas sierras de mesa deberán producirse mensualmente el próximo año para maximizar la utilidad?

1. ¿Existe o no un objetivo gerencial único?
   Así es. El objetivo es maximizar la utilidad del año.
2. ¿Existen cursos alternos de acción gerencial?
   Así es. La gerencia puede decidir producir durante el año sólo sierras circulares o sólo sierras de mesa, o cualquier mezcla de las dos líneas de productos.
3. ¿El logro total del objetivo está restringido por recursos escasos o por alguna otra limitación? De ser así, ¿cuál es la naturaleza de las restricciones?

Así es. La utilidad está limitada por la cantidad máxima de horas de fabricación disponibles por mes, por la cantidad máxima de horas de ensamble disponibles mensualmente, y por la demanda mensual máxima del mercado.

EJEMPLO 6.2

LP-2: CÓMO IDENTIFICAR UN PROBLEMA DE PROGRAMACIÓN LINEAL PARA UNA MEZCLA DE INGREDIENTES

La Gulf Coast Foundry está desarrollando un plan estratégico a largo plazo para adquirir chatarra para sus operaciones de fundición. La fundición puede comprar chatarra en cantidades ilimitadas de dos fuentes: Atlanta (A) y Birmingham (B), y la recibe todos los días en carros de ferrocarril. La chatarra se funde y el plomo y el cobre se extraen para uso en los procesos de fundición. Cada carro de ferrocarril de chatarra de la fuente A rinde una tonelada de cobre y una de plomo y cuesta 10 mil dólares. Cada carro de ferrocarril de chatarra de la fuente B rinde una tonelada de cobre y dos de plomo y cuesta 15 mil dólares. Si en el futuro predecible la fundición necesita por lo menos 2.5 toneladas de cobre y un mínimo de cuatro toneladas de plomo al día, ¿cuántos carros de ferrocarril de chatarra deben comprarse diariamente de la fuente A, y de la fuente B para minimizar el costo de la chatarra a largo plazo?

1. ¿Existe un objetivo gerencial único?
   Así es. La gerencia desea minimizar los costos diarios de comprar chatarra de la cual se podrá extraer cobre y plomo.
2. ¿Existen cursos alternos de acción gerencial?
   Así es. La gerencia puede comprar toda su chatarra ya sea sólo de la fuente A o B, o puede elegir cualquier combinación de cantidades de chatarra de ambas fuentes.
3. ¿Está restringido el logro total del objetivo por recursos escasos u otras restricciones? De ser así, ¿cuál es la naturaleza de estas restricciones?
   Así es. Los costos diarios están restringidos por la cantidad mínima de plomo y de cobre que se requieren cotidianamente.

FORMULACIÓN DE PROBLEMAS DE PROGRAMACIÓN LINEAL

Aunque una vez adquirida cierta experiencia, tanto la identificación como la formulación de los problemas de programación lineal tienden a hacerse intuitivas, al principio nos puede ayudar un método, para formularlas con mayor efectividad. La tabla 6.3 lista los pasos a seguir en la formu-

TABLA 6.3 PASOS PARA LA FORMULACIÓN DE PROBLEMAS DE PROGRAMACIÓN LINEAL

1. Defina el objetivo.
2. Defina las variables de decisión.
3. Escriba la función matemática del objetivo (función objetivo).
4. Con una o dos palabras describa cada una de las restricciones.
5. Escriba el lado derecho (LD) de cada restricción, incluyendo las unidades de medida.
6. Escriba ≤, = o ≥ para cada restricción.
7. Escriba todas las variables de decisión en el lado izquierdo de cada restricción.
8. Escriba en cada restricción el coeficiente de cada variable de decisión.

lación de problemas de programación lineal. Estos pasos estructuran los problemas de forma que nos ayuden a comprender mejor lo que estamos enfrentando. Además, los problemas se plantean en la forma requerida para su solución mediante programación lineal.

El ejemplo 6.3 sigue los pasos de formulación de programación lineal y define el problema LP-1, analizado en el ejemplo 6.1. Vuelva a leer el ejemplo 6.1 y siga el ejemplo con cuidado para asegurarse que comprende los procedimientos para formular problemas de programación lineal.

EJEMPLO 6.3

FORMULACIÓN DE LP-1

Quizás encuentre útil estudiar la figura 6.1 conforme analiza este ejemplo.

1. **Defina el objetivo.** Precisión Manufacturing Company busca maximizar la utilidad mensual. El problema es, por lo tanto, de maximización.
2. **Defina las variables de decisión.** ¿Qué decisiones específicas debe tomar Precisión para maximizar la utilidad? La empresa necesita decidir cuántas sierras circulares y cuántas sierras de mesa debe manufacturar mensualmente. Por lo tanto, digamos que:

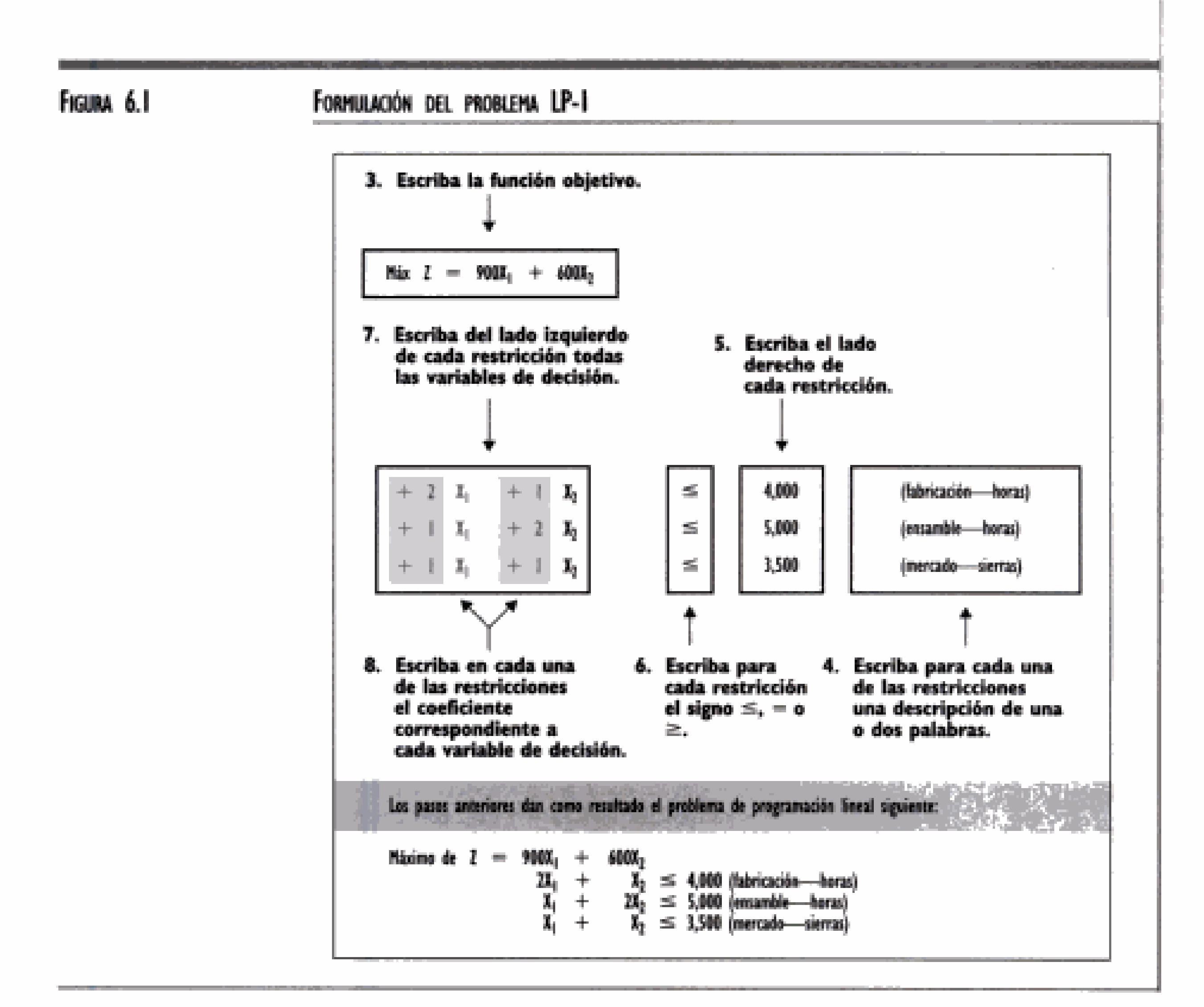
$$X_1 = \text{número de sierras circulares a fabricar cada mes}$$
$$X_2 = \text{número de sierras de mesa a fabricar cada mes}$$

   X_1 y X_2 son las variables de decisión. Cuando sepamos sus valores, habremos resuelto el problema.
3. **Escriba la función objetivo matemática.** Hagamos que Z sea igual a la utilidad mensual; Z es función de X_1 y X_2. En otras palabras, la utilidad mensual depende de cuántas sierras circulares (X_1) y sierras de mesa (X_2) se fabrican cada mes. $Z = C_1X_1 + C_2X_2$, donde C_1 y C_2 son las utilidades respectivas correspondientes a cada sierra circular y de mesa. $C_1 = 900$ dólares para cada sierra circular, $C_2 = 600$ dólares por cada sierra de mesa y $Z = 900X_1 + 600X_2$, siendo Z = las utilidades mensuales totales, $900X_2$ = utilidades mensuales correspondientes a sierras circulares y $600X_2$ = las utilidades mensuales para sierras de mesa. La función objetivo es por lo tanto, $Z = 900X_1 + 600X_2$, y ello sugiere que deberemos seleccionar valores de las variables de decisión X_1 y X_2 que den como resultado el valor máximo para Z. En caso de que no hubiera limitación o restricción en la capacidad de producción o en el mercado, la utilidad mensual de Z sería infinitamente grande.
4. **Escriba una descripción con una o dos palabras para cada restricción.** Hay tres factores que limitan a Precisión para tener utilidades infinitas, es decir, las horas de fabricación disponibles por mes, las horas de ensamble disponibles mensualmente y la demanda del mercado para las sierras todos los meses. Por lo tanto, la fabricación, el ensamble y el mercado son términos que definen cada una de estas restricciones.
5. **Escriba el lado derecho de cada restricción.** El lado derecho (LD) de cada restricción es la cantidad máxima (≤), la cantidad exacta (=) o la cantidad mínima (≥) de cada una de las restricciones. En este caso, la cantidad máxima de capacidad de fabricación es de 4,000 horas mensuales, la cantidad máxima de capacidad de ensamble es de cinco mil horas por mes y la demanda máxima del mercado es de 3,500 sierras mensuales.
6. **Escriba ≤, = o ≥ para cada restricción.** Dado que todas las restricciones de este problema son cantidades máximas, todas las restricciones son del tipo ≤. En otras palabras, la capacidad de fabricación que utilizarán X_1 y X_2 deberá ser menor que o igual a cuatro mil horas mensuales, la capacidad de ensamble que utilizarán X_1 y X_2 deberá ser inferior o igual a cinco mil horas por mes y la cantidad de sierras vendidas deberá ser igual o menor a tres mil 500 cada mes.
7. **Escriba todas las variables de decisión en el lado izquierdo de cada restricción.** En este problema sólo hay dos variables de decisión, X_1 y X_2. En caso que hubiera más X, se escribirían, con suficiente espacio entre ellas, para permitir que en el siguiente paso incluyéramos

sus coeficientes. Si una variable de decisión en particular no aparece en una restricción, esto se resuelve en el siguiente paso, al asignar un coeficiente cero a la variable de decisión correspondiente a dicha restricción.

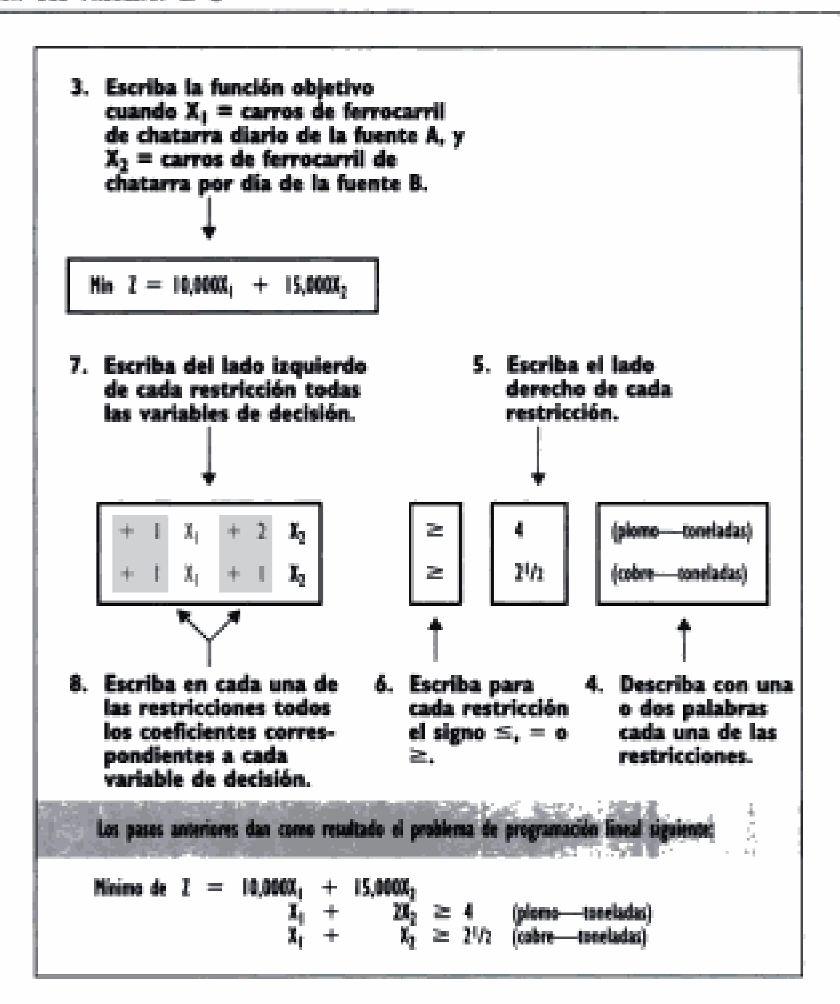
8. **En cada restricción escriba el coeficiente de cada variable de decisión.** Veamos la primera: fabricación. ¿Cuál es el coeficiente de X_1 en esta restricción? Es la cantidad de horas de fabricación por unidad de X_1. En otras palabras, es la cantidad de horas de fabricación que se utilizan en la manufactura de cada sierra circular, es decir, dos horas. De manera similar, el coeficiente de X_2 en esta primera restricción es la cantidad de horas de fabricación que se utilizan en la fabricación de cada sierra de mesa, es decir, una hora. Los coeficientes de X_1 y X_2 en la restricción de ensamble son 1 y 2, y los coeficientes de X_1 y de X_2 en la restricción de la demanda son 1 y 1.

FIGURA 6.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA LP-1



La figura 6.2 muestra la aplicación de los pasos para una formulación de programación lineal al problema LP-2 (vea el ejemplo 6.2). Lea de nuevo LP-2 con cuidado y recorra la figura 6.2 paso a paso, como lo hicimos en el ejemplo 6.3. Observe que LP-2 es un **problema de minimización** y que las restricciones son del tipo ≥.

FIGURA 6.2 **FORMULACIÓN DEL PROBLEMA LP-2**



Es necesario realizar algunas observaciones respecto a los problemas de programación lineal en general. Utilicemos las formulaciones LP-1 y LP-2 para centrar nuestro comentario:

1. Cada uno de los términos de una restricción debe estar en las mismas unidades que los términos del lado derecho. Por ejemplo, en la primera restricción de LP-1, $2X_1$ debe estar en las mismas unidades que 4,000:

$$\textbf{Unidades de } 2X_1 = \textbf{Unidades de 4,000}$$

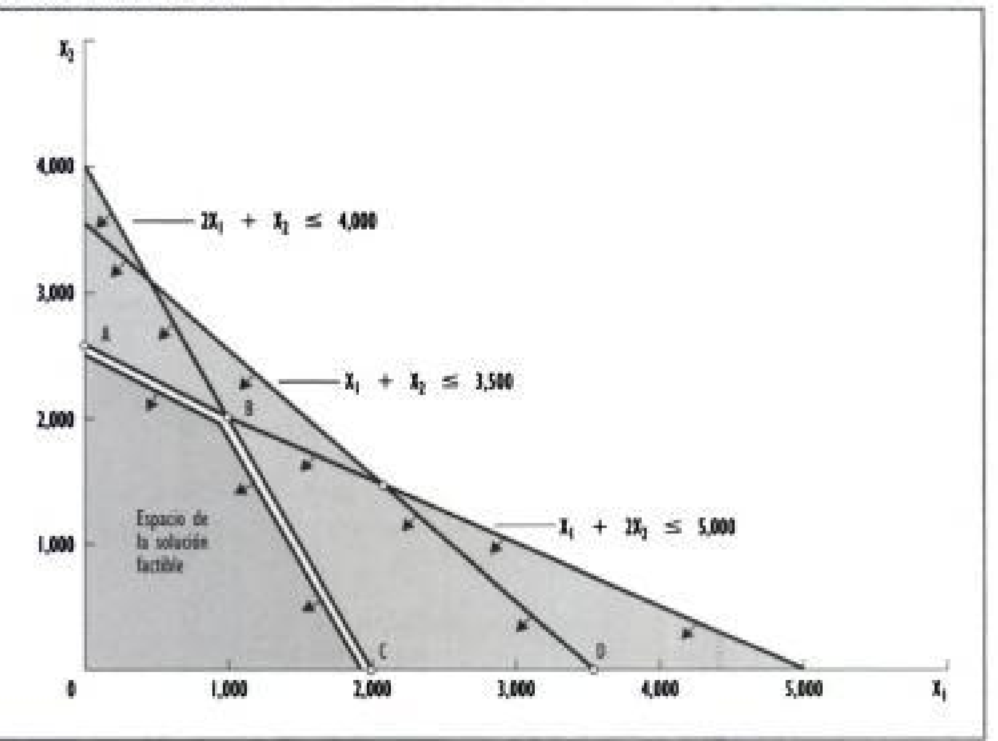
$$\left(\frac{\text{Horas de fabricación}}{\text{Sierra circular}}\right) \times \left(\frac{\text{Sierras circulares}}{\text{Mes}}\right) = \left(\frac{\text{Horas de fabricación}}{\text{Mes}}\right)$$

2. En la función objetivo cada uno de los términos debe estar en las mismas unidades que Z. Por ejemplo, $15{,}000X_2$ en LP-2 debe estar en las mismas unidades que Z:

$$\textbf{Unidades de } 15{,}000X_1 = \textbf{Unidades de Z}$$

$$\left(\frac{\text{Dólares}}{\text{Carros de ferrocarril}}\right) \times \left(\frac{\text{Carros de ferrocarril}}{\text{Día}}\right) = \left(\frac{\text{Dólares}}{\text{Día}}\right)$$

FIGURA 6.3 SOLUCIÓN GRÁFICA DE LP-1



EJEMPLO 6.5

SOLUCIÓN GRÁFICA DE LP-2

Se utiliza el problema LP-2 para ilustrar los pasos de la solución gráfica de un problema de programación lineal de minimización. Vuelva a leer LP-2 (ejemplo 6.2).

1. **Formule las funciones objetivo y de las restricciones.** Recuerde que LP-2 se formuló en la figura 6.2 con estas variables de decisión:

   X_1 = carros de ferrocarril con chatarra adquiridos diariamente de la fuente A
   X_2 = carros de ferrocarril con chatarra adquiridos diariamente de la fuente B

   Las funciones objetivo y de las restricciones fueron:

   $$\text{Mín } Z = 10{,}000X_1 + 15{,}000X_2$$
   $$X_1 + 2X_2 \geq 4 \text{ (plomo—toneladas)}$$
   $$X_1 + X_2 \geq 2\tfrac{1}{2} \text{ (cobre—toneladas)}$$

2. **Dibuje una gráfica.**
3. **Trace las funciones de las restricciones.**
4. **Delinee el espacio de la solución factible.**
5. **Circule los puntos de solución potencial en el perímetro del área de solución (vea la figura 6.4).**

   Note que en vista que ambas restricciones son ≥, todos los valores posibles de X_1 y X_2 deben ocurrir por fuera de ambas restricciones, hacia afuera del origen. El punto D no es factible, ya que viola la primera restricción. De manera similar, el punto E viola la segunda restricción. *Aunque cualquier punto dentro del espacio de la solución factible satisface todas las*

restricciones, sólo los puntos A, B y C son candidatos para la solución óptima, ya que ocurren en las intersecciones de las restricciones o de los ejes y están sobre el perímetro interno del espacio de la solución factible.

Los puntos A, B y C son tres soluciones potencialmente óptimas al problema LP-2:

A: $X_1 = 0$ y $X_2 = 2.5$ **B:** $X_1 = 1$ y $X_2 = 1.5$ **C:** $X_1 = 4$ y $X_2 = 0$

6. **Reemplace los valores de los puntos de solución de las dos variables de decisión en la función objetivo y determine Z:**

Punto A:
$X_1 = 0$ y $X_2 = 2.5$

$$\begin{aligned} Z &= 10,000X_1 + 15,000X_2 \\ &= 10,000(0) + 15,000(2.5) \\ &= 37,500 \end{aligned}$$

Punto B:
$X_1 = 1$ y $X_2 = 1.5$

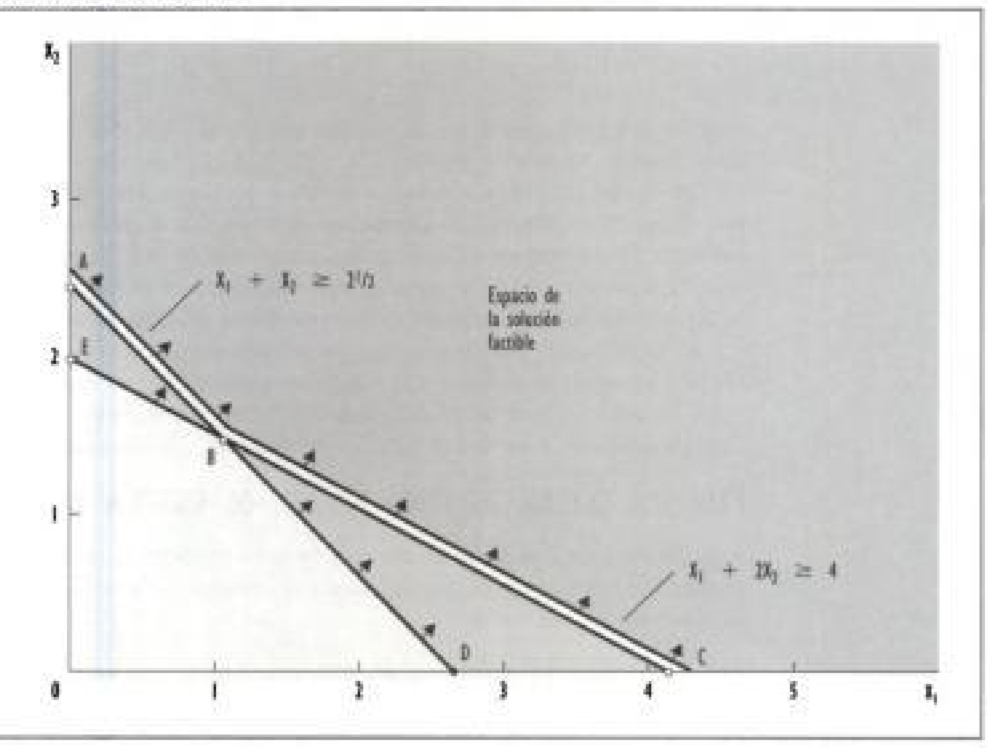
$$\begin{aligned} Z &= 10,000X_1 + 15,000X_2 \\ &= 10,000(1) + 15,000(1.5) \\ &= 32,500 \end{aligned}$$

Punto C:
$X_1 = 4$ y $X_2 = 0$

$$\begin{aligned} Z &= 10,000X_1 + 15,000X_2 \\ &= 10,000(4) + 15,000(0) \\ &= 40,000 \end{aligned}$$

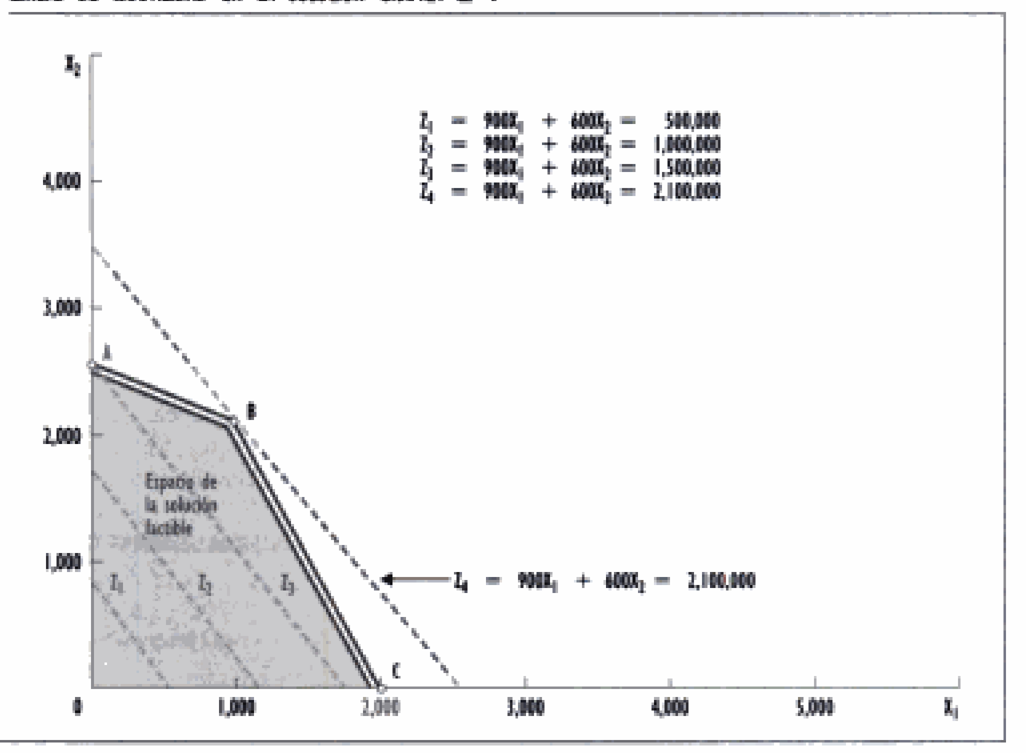
7. **Seleccione la solución que optimice a Z.** Para minimizar a Z, la solución óptima es el punto B, donde X_1 = 1 carro de ferrocarril con chatarra de la fuente A por día, X_2 = 1.5 carros de ferrocarril con chatarra de la fuente B por día, y Z = 32.500 dólares de costo total diario de chatarra.

FIGURA 6.4 **SOLUCIÓN GRÁFICA DE LP-2**



Las soluciones óptimas en el método de soluciones gráficas ocurrirán en las intersecciones del perímetro interno (minimización) o del perímetro externo (maximización) del espacio de la solución factible. La figura 6.5 demuestra lo anterior. Empezando en el origen, donde Z = 0, hacemos que Z, la función de utilidad de LP-1, tome valores progresivamente mayores, desde 500,000 hasta 2,100,000. Cuando se trazan estas funciones de isoutilidad, como a veces se conocen, podemos

FIGURA 6.5 LÍNEAS DE ISOUTILIDAD EN LA SOLUCIÓN GRÁFICA LP-1



observar que la función de isoutilidad *más elevada* se cruza con el espacio de la solución factible en el punto B. La función objetivo Z siempre cortará el perímetro del espacio de la solución factible en una intersección y la solución óptima al problema de programación lineal se encontrará en esta intersección. Sabiendo lo anterior, podemos encontrar gráficamente la solución óptima de un problema de programación lineal trazando funciones de isoutilidad (maximización) o de isocosto (minimización) en vez de reemplazar algebraicamente en la función objetivo los valores de X_1 y de X_2 en todas las intersecciones sobre el perímetro del espacio de la solución factible.

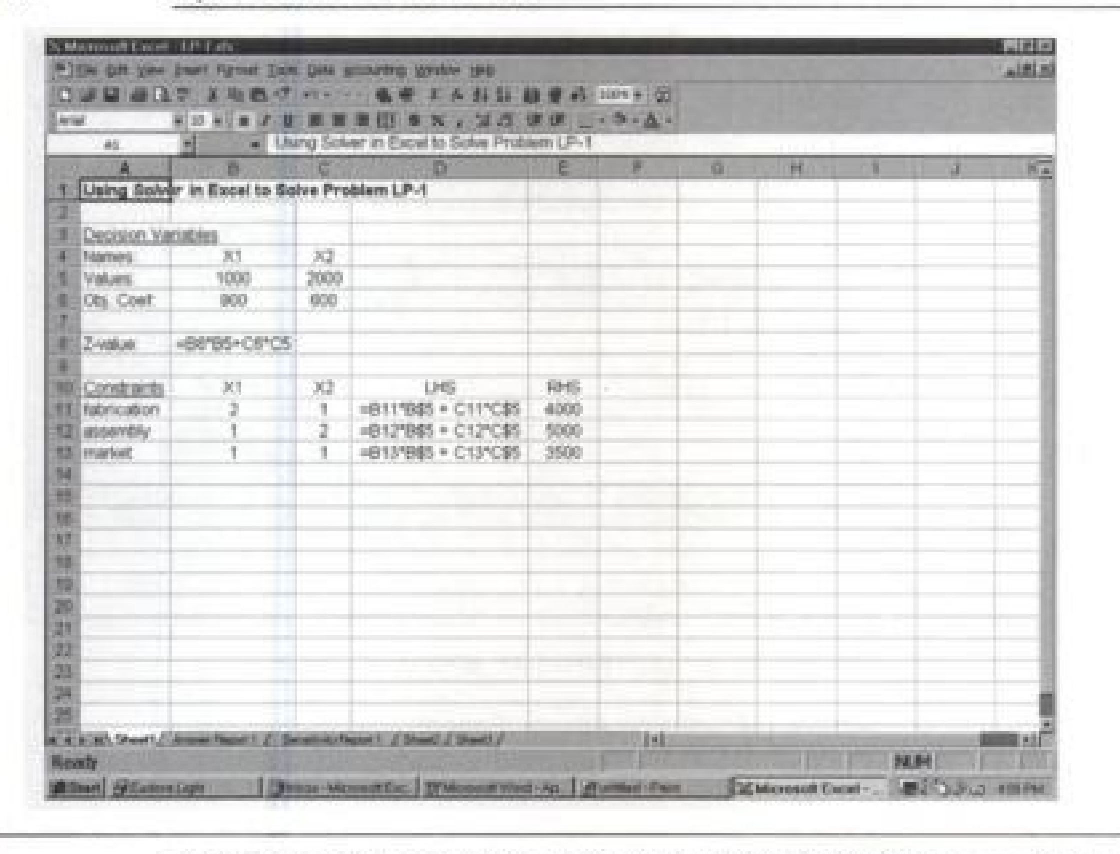
El método gráfico no es una solución práctica, porque sólo permite como máximo dos, y quizás tres, variables de decisión. Las soluciones gráficas son, sin embargo, un buen punto para empezar a resolver problemas de programación lineal ya que los conceptos aprendidos pueden aplicarse directamente a los demás métodos prácticos de solución que se describirán a continuación.

PANORAMA GENERAL DE OTROS MÉTODOS DE SOLUCIÓN PARA PROGRAMACIÓN LINEAL

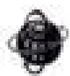
Aquí presentamos una breve descripción de otros métodos de solución para programación lineal: simplex, de transporte y de asignación. En el apéndice C de este libro encontrará un análisis más detallado de estos métodos.

Método símplex El método simplex es la herramienta analítica más común para la resolución de modelos de programación lineal. Aunque el uso del método simplex para resolver manualmente la programación lineal es tediosa y sujeta a errores, hay disponibles para esta tarea suficientes programas estándar de cómputo de programación lineal pues los problemas de programación lineal de la vida real siempre se resuelven en computadora. Unos cuantos ejemplos de software son *Optimization Solutions and Library* (**ism.boulder.ibm.com/es/oslv2/features/welcome/features.htm**), de IBM, *LINDO* (**www.lindo.com**), *GAMS* (**www.gams.com**) y el programa de programación lineal en el *POM Computer Library*. *Solver*, una herramienta de software para la resolución de modelos de programación lineal está disponible junto con paquetes de hoja de cálculo como *Excel*, *Lotus 1-2-3* y *Quattro Pro*. También, proveedores de software independientes ofrecen complementos de

FIGURA 6.6 HOJA DE CÁLCULO INICIAL CON FÓRMULAS



software para paquetes comunes de hoja de cálculo: *What's Best!* (también en **www.lindo.com**) y *Premium Solver* de Frontline System (**www.frontsys.com**), una versión mejorada del programa Solver de los paquetes de hoja de cálculo, son apenas dos de ellos.



Las figuras 6.6, 6.7 y 6.8 ilustran la manera en que la herramienta *Solver* en el *Excel* de Microsoft puede utilizarse para resolver el problema LP-1. La figura 6.6 muestra la hoja de cálculo inicial, con fórmulas. La figura 6.7 muestra la ventana Solver Parameters (Parámetros de Solver), cuando se ha seleccionado Solver de la barra de menús de Excel. La dirección de celda para "Set Target Cell: (Celda objetivo:)", es donde se describió la fórmula para función objetivo Z. Las direcciones de celda para "By Changing Cell: (Cambiando las celdas:)", es donde se escriben los valores de las variables de decisión introducidas inicialmente como ceros. Las restricciones se agregaron inicialmente introduciendo la dirección de celda para el cálculo del lado izquierdo (LIS), el valor del lado derecho LD y el tipo de restricción (<=). Se seleccionó en "Options (Opciones)", de la figura 6.7, el recuadro "Assume Linear Model (Adoptar modelo lineal)". Finalmente de hizo clic en el botón "Solve (Resolver)" para obtener la solución optima mostrada en Answer Report (informe de respuestas) de la figura 6.8.

Se siguen haciendo esfuerzos para mejorar el método simplex. Un área que está recibiendo particular atención es hacer el método más eficiente para procesarlo por computadora. Conforme los problemas empresariales y gubernamentales se hacen más grandes y complejos, se hace más atractiva la posibilidad de procesar problemas de programación lineal extremadamente grandes en las grandes computadoras. La Instantánea Industrial 6.2 analiza el trabajo de Narendra K. Karmarkar en el descubrimiento de un avance en la eficiencia de procesamiento por computadora para resolver grandes problemas de programación lineal.

Método de transporte Uno de los primeros métodos de programación lineal fue el **método de transporte.** Este método sólo puede resolver una forma especial del problema de programación lineal, aquél que tiene *m* fuentes y *n* destinos con estas características:

FIGURA 6.7 USO DE SOLVER DE EXCEL

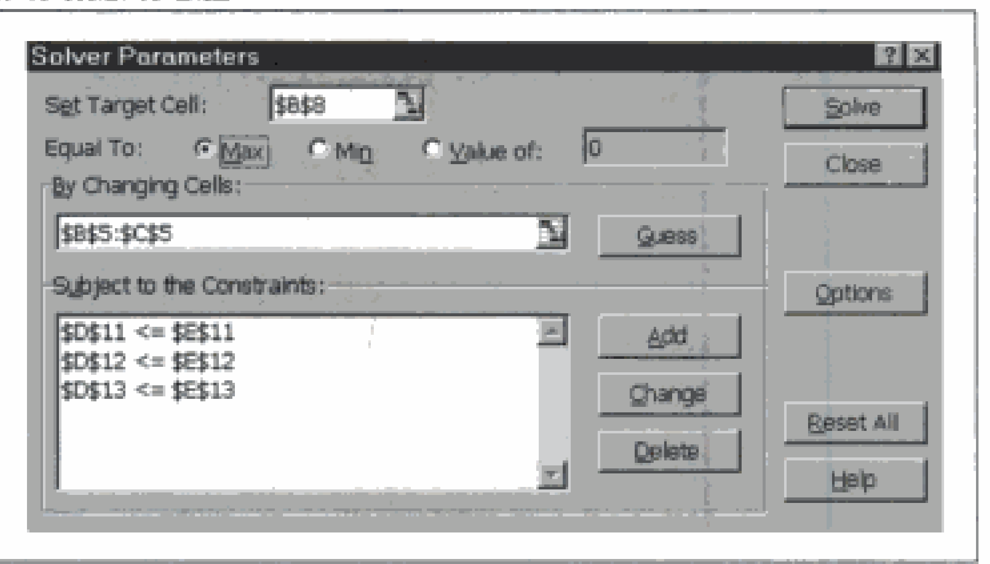


FIGURA 6.8 ANSWER REPORT DE SOLVER (REPORTE DE RESPUESTA DE SOLVER)

Microsoft Excel 8.0a Answer Report
Worksheet: [LP-1.xls]Sheet1
Report Created: 12/21/97 2:00:05 PM

Target Cell (Max)

Cell	Name	Original Value	Final Value
$B$8	Z-value:	0	2100000

Adjustable Cells

Cell	Name	Original Value	Final Value
$B$5	Values: X1	0	1000
$C$5	Values: X2	0	2000

Constraints

Cell	Name	Cell Value	Formula	Status	Slack
$D$11	fabrication	4000	$D$11<=$E$11	Binding	0
$D$12	assembly	5000	$D$12<=$E$11	Binding	0
$D$13	market	3000	$D$13<=$E$13	Not Binding	500

1. La cantidad de variables es m × n.
2. La cantidad de restricciones es m + n.
3. Los costos sólo aparecen en la función objetivo.
4. Los coeficientes de las variables de decisión son 0 o 1.

El método simplex puede resolver cualquier problema de programación lineal que resuelve el método de transporte, pero no lo contrario.

INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 6.2

ASOMBROSO DESCUBRIMIENTO EN BELL LABS

Narendra K. Karmarkar es un científico que trabaja en AT&T Bell Laboratories. Descubrió una manera de resolver con rapidez enormes problemas de programación lineal que previamente habían resultado difíciles de resolver, incluso para supercomputadoras muy poderosas. AT&T está utilizando su procedimiento para estimar las necesidades telefónicas de los clientes durante los siguientes 10 años en los países de la cuenca del Océano Pacífico. La cantidad de pares de puntos de conmutación de la región es tan elevado, que la formulación en programación lineal del problema tiene 42 mil variables. Hace casi 40 años George B. Dantzig, de Stanford University, desarrolló el método simplex para la solución de problemas de programación lineal, pero el método no es práctico para problemas del tamaño que Karmarkar estudia. Se estima que su método requiere casi 1% del tiempo de computadora del método simplex para dichos problemas.

Un problema de programación lineal se puede considerar como un domo geodésico, con una solución potencial en cada esquina. Para resolver un problema de programación lineal, se deben examinar las múltiples esquinas del domo, para determinar cuál tiene la mejor solución. En el método simplex, las esquinas se examinan en secuencia al pasar a soluciones progresivamente mejores, hasta que no se encuentren mejores soluciones.

El método de Karmarkar, utilizando una táctica radicalmente distinta, empieza a partir de un punto dentro de la estructura y encuentra la solución al tomar un atajo, que evita el tedioso camino por la superficie. Desde el punto de control interno utiliza geometría proyectiva para reconfigurar la forma de la figura. El método estudia la nueva estructura para determinar en qué dirección se halla la solución. Después de que a la estructura problema se le ha dejado que regrese a su forma original, el programa salta hacia la solución, haciendo pausas a intervalos para repetir el ejercicio y enfocarse hacia la solución.

El procedimiento de Karmarkar para problemas de programación lineal se dice es tan efectivo, que AT&T está estudiando problemas complejos que jamás se habían estudiado. Por ejemplo, se dice que un modelo de programación lineal de la red doméstica de larga distancia de AT&T incluye 800,000 variables. La solución de Karmarkar a este problema mostró la forma en que AT&T podría extraer otro 9 a 10% de capacidad del sistema de 15 mil millones de dólares. Antes del procedimiento de Karmarkar, este tipo de problemas tenía que dividirse en muchos problemas pequeños, cuyas soluciones debían conjuntarse al final. La técnica de Karmarkar resuelve de una vez todo el problema de programación lineal, en menos de una hora.

Fuente: William G. Wild, Jr., y Otis Port. "The Startling Discovery Bell Labs Kept in the Shadows." *Business Week*, 21 de septiembre, 1987, 69, 72, 76.

El **problema de transporte de programación lineal** es de una forma especial, donde el objetivo por lo general es minimizar el costo de embarcar productos desde varias fuentes hacia varios destinos. Las restricciones se refieren a la capacidad de las fuentes y a las demandas de los destinos. El ejemplo 6.6 es un problema de programación lineal de esta forma. Note que los coeficientes de las variables de decisión en las restricciones son 0 o 1. Además, el patrón de aparición de las variables de decisión en las restricciones del ejemplo es característico de problemas de transporte.

EJEMPLO 6.6

UN PROBLEMA DE PROGRAMACIÓN LINEAL DE TRANSPORTE

La Green Up Fertilizer Company embarca fertilizante de dos plantas a tres clientes. El costo de embarque por tonelada de fertilizante por cada planta hacia cada uno de los clientes es:

	Cliente		
Planta	**A**	**B**	**C**
1	15 dólares	30 dólares	20 dólares
2	20	25	15

La planta 1 tiene una capacidad mensual de 1,000 toneladas, la planta 2 una capacidad mensual de 2,000 toneladas. La demanda mensual de los clientes es A = 500 toneladas, B = 1,500 toneladas, C = 1,000 toneladas. Formule un problema de programación lineal para determinar cuánto fertilizante deberá embarcarse al mes desde cada una de las plantas a cada cliente para minimizar los costos mensuales de embarque.

1. **Defina el objetivo.** Minimizar los costos mensuales de embarque.
2. **Defina las variables de decisión.** Note que hay $m \times n$ $(2 \times 3 = 6)$ variables de decisión.

X_1 = toneladas de fertilizante a embarcar de 1 a A por mes
X_2 = toneladas de fertilizante a embarcar de 1 a B por mes
X_3 = toneladas de fertilizante a embarcar de 1 a C por mes
X_4 = toneladas de fertilizante a embarcar de 2 a A por mes
X_5 = toneladas de fertilizante a embarcar de 2 a B por mes
X_6 = toneladas de fertilizante a embarcar de 2 a C por mes

3. **Escriba la función matemática del objetivo:**

$$\text{Mín } Z = 15X_1 + 30X_2 + 20X_3 + 20X_4 + 25X_5 + 15X_6$$

4. **Escriba las restricciones.** Note que hay $m + n$ $(2 + 3 = 5)$ restricciones.

$$\begin{aligned}
&X_1 + X_2 + X_3 \le 1{,}000 && \text{(Capacidad en toneladas de la planta 1)}\\
&X_4 + X_5 + X_6 \le 2{,}000 && \text{(Capacidad en toneladas de la planta 2)}\\
&X_1 + X_4 \ge 500 && \text{(Demanda en toneladas del cliente A)}\\
&X_2 + X_5 \ge 1{,}500 && \text{(Demanda en toneladas del cliente B)}\\
&X_3 + X_6 \ge 1{,}000 && \text{(Demanda en toneladas del cliente C)}
\end{aligned}$$

El problema de programación lineal resultante es:

$$\begin{aligned}
\text{Mín } Z = 15X_1 + 30X_2 + 20X_3 + 20X_4 + 25X_5 + 15X_6&\\
X_1 + X_2 + X_3 &\le 1{,}000\\
X_4 + X_5 + X_6 &\le 2{,}000\\
X_1 + X_4 &\ge 500\\
X_2 + X_5 &\ge 1{,}500\\
X_3 + X_6 &\ge 1{,}000
\end{aligned}$$

Método de asignación Otro problema especial de programación lineal ocurre ocasionalmente en la administración de la producción y de las operaciones: el **problema de asignación.** El problema de la viñeta al inicio de este capítulo es un problema de asignación. Estos problemas generalmente buscan asignar puestos o personal a máquinas o departamentos. Un problema de asignación es simplemente un caso especial de un problema de transporte, ya que tiene las características de un problema de transporte como el analizado anteriormente. Además, en un problema de asignación:

1. Los lados derechos de las restricciones son todos 1.
2. Los signos de las restricciones son = en vez de ser ≤ o ≥.
3. El valor de todas las variables de decisión es 0 o 1.

Por ejemplo, suponga que deben asignarse tres personas a tres proyectos; cada uno de los proyectos debe asignarse sólo a una persona y cada persona debe asignarse sólo a un proyecto. Los cos-

tos aparecen a continuación. El objetivo es determinar un esquema de asignación que minimice los costos.

	Proyecto		
Persona	**A**	**B**	**C**
1	20 dólares	30 dólares	10 dólares
2	40	30	40
3	30	20	30

PROBLEMAS REALES DE PROGRAMACIÓN LINEAL

En la administración de la producción y de las operaciones los problemas reales de programación lineal típicamente tienen numerosas variables, numerosas restricciones y otras características complejas. El problema real de programación lineal que se presenta y se formula en el ejemplo 6.7 ampliará su comprensión de la programación lineal en la administración de la producción y de las operaciones.

EJEMPLO 6.7

OKLAHOMA CRUDE OIL COMPANY

Una refinería de petróleo en Oklahoma compra petróleo crudo de cinco fuentes: Oklahoma, Texas, Kansas, Nuevo México y Colorado. Produce seis productos finales: gasolina normal, gasolina premium, gasolina baja en plomo, disel, petróleo para calefacción y base para aceites de lubricación. La tabla que sigue muestra la distribución de petróleo crudo para cada producto final, los costos del petróleo crudo y las necesidades del mercado para cada uno de los productos finales.

	Fuente de petróleo crudo					Requerimientos mensuales del mercado
Producto	**Oklahoma**	**Texas**	**Kansas**	**Nuevo México**	**Colorado**	**(miles de galones)**
Gasolina normal	40%	30%	30%	20%	30%	5,000
Gasolina premium	20	30	40	30	20	3,000
Gasolina baja en plomo	20	10	—	30	10	3,000
Disel	20	10	10	—	20	2,000
Petróleo combustible	—	10	10	20	10	1,000
Base para aceite lubricante	10	10	10	—	10	2,000
Totales	100%	100%	100	100%	100%	16,000
Costo galón/entregado	.20 dls	.14 dls	.15 dls	.18 dls	.12 dls	

Las fuentes de petróleo crudo están cautivas dentro de la empresa y puede comprarse cualquier cantidad de cada uno de los crudos para satisfacer las necesidades de esta refinería, hasta los siguientes máximos:

Fuente de crudo	Máximo suministro mensual (miles de galones)	Fuente de crudo	Máximo suministro mensual (miles de galones)
Crudo de Oklahoma	8,000	Crudo de	
Crudo de Texas	4,000	Nuevo México	3,000
Crudo de Kansas	5,000	Crudo de Colorado	6,000

¿Cuánto aceite crudo deberá comprarse de cada una de las fuentes, para por lo menos satisfacer al mercado y minimizar los costos de petróleo crudo?

1. **Defina las variables de decisión:**

   X_1 = miles de galones de petróleo crudo de Oklahoma que deben comprarse mensualmente
   X_2 = miles de galones de petróleo crudo de Texas que deben comprarse mensualmente
   X_3 = miles de galones de petróleo crudo de Kansas que deben comprarse mensualmente
   X_4 = miles de galones de petróleo crudo de Nuevo México que deben comprarse mensualmente
   X_5 = miles de galones de petróleo crudo de Colorado que deben comprarse mensualmente

2. **Formule el problema de programación lineal:**

   $\text{Mín } Z = 200X_1 + 140X_2 + 150X_3 + 180X_4 + 120X_5$

   $.4X_1 + .3X_2 + .3X_3 + .2X_4 + .3X_5 \geq 5{,}000$ (Requerimiento del mercado de gasolina normal*)

   $.2X_1 + .3X_2 + .4X_3 + .3X_4 + .2X_5 \geq 3{,}000$ (Requerimiento del mercado de gasolina premium*)

   $.2X_1 + .1X_2 + \quad + .3X_4 + .1X_5 \geq 3{,}000$ (Requerimiento del mercado de gasolina baja en plomo*)

   $.1X_1 + .1X_2 + .1X_3 \quad + .2X_5 \geq 2{,}000$ (Requerimiento del mercado de dísel*)

   $.1X_2 + .1X_3 + .2X_4 + .1X_5 \geq 1{,}000$ (Requerimiento del mercado de petróleo de calefacción*)

   $.1X_1 + .1X_2 + .1X_3 \quad + .1X_5 \geq 2{,}000$ (Requerimiento del mercado de base para aceite lubricante*)

   $X_1 \leq 8{,}000$ (Suministro de petróleo crudo de Oklahoma*)

   $X_2 \leq 4{,}000$ (Suministro de petróleo crudo de Texas*)

   $X_3 \leq 5{,}000$ (Suministro de petróleo crudo de Kansas*)

   $X_4 \leq 3{,}000$ (Suministro de petróleo crudo de Nuevo México*)

   $X_5 \leq 3{,}000$ (Suministro de petróleo crudo de Colorado*)

   La resolución de este problema de programación lineal da como resultado un costo total mínimo de 3,420,000 dólares.

*En miles de galones.

INTERPRETACIÓN DE LAS SOLUCIONES POR COMPUTADORA DE LOS PROBLEMAS DE PROGRAMACIÓN LINEAL

En esta sección explicamos cómo interpretar el significado de la impresión de una solución de un problema de programación lineal de la *POM Computer Library*. La figura 6.9 despliega la solución al problema LP-1 formulado y resuelto gráficamente antes en este capítulo. Pudiera resultar útil repasar los ejemplos 6.3 y 6.4 antes de leer está sección. En la figura 6.9, lo primero que notamos es la formulación del problema LP-1, dos variables de decisión y tres restricciones $\leq$. En la siguiente sección de la impresión, encontramos la solución, que se efectuó en tres iteraciones o tablas simplex. La solución se deduce de las variables que aparecen en la columna de mezcla de variables, que también se conoce como columna de soluciones o **base**: $X_1 = 1{,}000$; $X_2 = 2{,}000$; $S_3 = 500$; $Z = 2{,}100{,}000$ dólares; todas las demás variables que no aparecen en la base son igual a cero.

El significado de las variables de decisión (las X) y las Z se analizaron en este capítulo. El significado de S_3, una **variable de holgura,** sin embargo requiere explicación. La variable de holgura S_3, está asociada con la tercera restricción, por lo que se identifica con el subíndice 3. La tercera restricción de LP-1 es $X_1 + X_2 \leq 3{,}500$, lo que limita el número total de sierras circulares (X_1) y sierras de mesa (X_2) que pueden venderse cada mes, a un máximo de 3,500. S_3 nos permite convertir la tercera restricción de una $\leq$ a un =:

FIGURA 6.9 LISTADO DE COMPUTADORA PARA EL PROBLEMA LP-1 DEL POM COMPUTER LIBRARY

```
*******************************************************
*** LINEAR PROGRAMMING ***
*******************************************************

=======================================================
*** ORIGINAL PROBLEM LP-1***
=======================================================
MAX Z= 900 X 1 + 600 X 2

       2 X 1 + 1 X 2  <=  4000
       1 X 1 + 2 X 2  <=  5000
       1 X 1 + 1 X 2  <=  3500

=======================================================
*** SOLUTION ***
=======================================================
ITERATION NUMBER 3

VARIABLE MIX         SOLUTION
------------        -------------
X 1                   1000.00
X 2                   2000.00
S 3                    500.00
 Z                 2100000.00

---END OF SOLUTION---
=======================================================
*** SENSITIVITY ANALYSIS ***
=======================================================
CONSTRAINTS
-------------------------------------------------------
                                       RANGE OF RHS
CONSTRAINT    TYPE OF       SHADOW     FOR WHICH SHADOW
 NUMBER      CONSTRAINT     PRICE      PRICE IS VALID
---------    ----------     ------     ----------------
    1            <=          400         2500 --  5500
    2            <=          100         2000 --  6500
    3            <=          0           3000 -- +INF
NOTE: THE SHADOW PRICE REPRESENTS THE AMOUNT Z WOULD
      CHANGE IF A CONSTRAINT'S RHS CHANGED ONE UNIT.

-------------------------------------------------------
DECISION VARIABLES
-------------------------------------------------------
NONBASIC     AMOUNT Z IS REDUCED (MAX) OR INCREASED
VARIABLE     (MIN) FOR ONE UNIT OF X IN THE SOLUTION
--------     ---------------------------------------
--------NONE----------
--------------------------------------------------------
```

$$X_1 + X_2 \leq 3{,}500$$
$$X_1 + X_2 + S_3 = 3{,}500$$

Como tal, S_3 representa la cantidad de mercado no utilizada por mes, no satisfecha por las ventas de sierras X_1 y X_2. Dado que $S_3 = 500$, tendríamos 500 sierras del mercado no utilizado por mes, si vendemos y producimos 1,000 sierras circulares y 2,000 sierras de mesa. Similarmente, S_1 representa la cantidad de horas sin utilizar de capacidad de fabricación por mes y S_2 la cantidad de horas sin utilizar de capacidad de ensamble por mes (los subíndices 1 y 2 se refieren a las restricciones primera y segunda). Puesto que tanto S_1 y $S_2 = 0$ (dado que ya no aparecieron en la base o columna de variables), todas las horas disponibles de fabricación y ensamble se habrían utilizado cada mes.

Vayamos ahora a la sección de análisis de sensibilidad (Sensitivity Analysis) de la figura 6.9. Para las restricciones, los precios sombra nos dan el impacto que ocurriría sobre Z si el lado derecho de las restricciones se modificasen. Por ejemplo, en la primera restricción, que es una restric-

TABLA 6.5 **CAMBIOS EN Z EN FUNCIÓN DE LOS CAMBIO DEL LADO DERECHO**

Tipo de restricciones	¿Cómo cambia el lado derecho?	¿Existe holgura en la restricción?	¿Cómo cambia Z? Máximo de Z	Mínimo de Z
≤	Hacia arriba	No	Hacia arriba	Hacia abajo
≤	Hacia abajo	No	Hacia abajo	Hacia arriba
≤	Hacia arriba o hacia abajo	Sí	Sin cambio	Sin cambio
≥	Hacia arriba	No	Hacia abajo	Hacia arriba
≥	Hacia abajo	No	Hacia arriba	Hacia abajo
≥	Hacia arriba o hacia abajo	Sí	Sin cambio	Sin cambio

ción ≤, que representa horas de fabricación, si el lado derecho fuera cambiado en una hora, Z cambiaría en 400 dólares. Esta información nos permite contestar preguntas como: ¿De qué manera se afectarían las utilidades, si pudiéramos encontrar una forma de tener más horas de fabricación disponibles? Z cambiaría 400 dólares para cada cambio de una hora en el lado derecho, pero ¿Z aumenta o disminuye cuando aumenta el lado derecho? La tabla 6.5 nos da reglas que indican la forma en que cambia Z con los cambios en los lados derechos.

Dado que la restricción es una restricción ≤, no existe holgura en la restricción dado que $S_1 = 0$, y se trata de un problema de maximización. Z se incrementaría si el lado derecho aumenta y Z se reduciría si el lado derecho disminuye. Si estuvieran disponibles más horas de fabricación Z se incrementaría en 400 dólares por cada hora adicional de fabricación disponible. Si el lado derecho se redujera en una hora Z se diminuiría en 400 dólares. Pero esta explicación sólo es válida si el lado derecho se mantiene en el rango de 2,500-5,500. Si el lado derecho queda fuera de este rango, no se puede deducir el impacto sobre Z y tendríamos que formular de nuevo el problema, con un nuevo lado derecho y resolver de nuevo el problema.

La explicación del precio sombra para la segunda restricción se deduce de manera similar. Z se incrementaría en 100 dólares por cada incremento de una hora en el lado derecho de 5,000 horas de ensamble, o bien Z se reduciría en 100 dólares por cada reducción de una hora en el lado derecho de 5,000 horas de ensamble. Esta explicación sólo es válida si el lado derecho se conserva en el rango de 2,000 a 6,500.

El precio sombra por la tercera restricción es 0, lo que significa que Z no cambiará con cambios hacia arriba (de 3,000 hasta más infinito) al lado derecho de la tercera restricción. Esto es debido a que $S_3 = 500$, lo que significa que tenemos un mercado sin utilizar, y el incremento del mercado no causará ningún cambio en Z.

Para las variables de decisión, los precios sombra nos indican el cambio en Z si se introduce en la solución una unidad de una variable de decisión no básica (una variable X que no aparezca en la columna de la mezcla de variables o base). Dado que ambas variables de decisión (X_1 y X_2) están en la base, no existen otras variables de decisión por introducir a la solución. De existir, dado que Z es óptimo, introducir cualquier otra variable X en la solución haría que Z fuera menos óptimo (las utilidades se reducirían o los costos se incrementarían) para una cantidad igual al precio sombra de cada una de las unidades introducidas en la solución.

LP-1 solamente tuvo restricciones ≤. Quizás se pregunte usted de qué manera interpretaría una solución de computadora de un problema de programación lineal con restricciones ≥. Veamos la primera restricción de LP-2 del ejemplo 6.2.

$$X_1 + 2X_2 \geq 4$$

Esta restricción representa la cantidad diaria mínima de toneladas de plomo que deben obtenerse. Esta restricción se convierte en una igualdad mediante la introducción de S_1, donde de nuevo el subíndice 1 se refiere a la primera restricción:

$$X_1 + 2X_2 \geq 4$$
$$X_1 + 2X_2 = 4 + S_1$$
$$X_1 + 2X_2 - S_1 = 4$$

Observe que S_1 se agrega al lado más pequeño de la expresión, que es el lado derecho, a fin de convertir la expresión en una igualdad. También, observe que S_1 se resta entonces de ambos lados para permitir que todas las variables aparezcan sólo en el lado izquierdo. De la segunda de las anteriores expresiones podemos ver que S_1 representa las unidades de plomo proporcionadas por encima del mínimo de cuatro toneladas. Si se proporciona el mínimo de cuatro toneladas, $S_1 = 0$ conforme S_1 adquiere valores más grandes, se tiene un superávit de plomo por encima del mínimo de cuatro toneladas, por lo que cuando una restricción es del tipo $\geq$, la variable de holgura representa la cantidad de la restricción que se proporciona por encima del mínimo. Si el lado derecho de la primera restricción de LP-1 se incrementa y $S_1 = 0$, dado que se trata de una restricción $\geq$ y LP-1 es un problema de minimización, la tabla 6.5 indica que Z aumentaría en una cantidad proporcional a su precio sombra. De manera similar, si se redujera su lado derecho, Z se reduciría en una cantidad proporcional a su precio sombra.

En algunas soluciones por computadora, pueden aparecer variables artificiales (A1). No tienen ningún valor interpretativo dentro del alcance de este libro.

RECOPILACIÓN:
LO QUE HACEN LOS PRODUCTORES DE CLASE MUNDIAL

Actualmente, quizás más que nunca antes, los gerentes de operaciones comprenden que la mayoría de la decisiones deben tomarse y alcanzarse objetivos bajo restricciones impuestas sobre las organizaciones. La demanda del cliente para productos y servicios, recursos de producción limitados, reglamentaciones gubernamentales, requisitos de calidad y limitaciones tecnológicas son un ejemplo de restricciones en la administración de la producción y de las operaciones. Dentro de estas y de otras restricciones, los gerentes buscan alcanzar sus estrategias de operación. Como productores de clase mundial, los gerentes de todos los niveles utilizan el poder de la programación lineal para resolver problemas empresariales complejos con restricciones, pero vemos algunas variaciones en las formas en que los gerentes deciden emplear esta versátil herramienta.

Algunas empresas establecen departamentos formales llamados de *investigación de operaciones, ciencias de la administración* o *departamento de análisis de las operaciones.* Estas áreas están equipadas con analistas que tienen un conocimiento especial de la programación lineal y de otras técnicas matemáticas, así como de la habilidad para aplicarlas a problemas organizacionales.

Otra forma en que los productores de clase mundial pudieran utilizar la programación lineal consiste en contratar consultores para que los asesoren sobre la mejor manera de encarar sus decisiones con restricciones y diseñar el hardware y software necesarios. A la vez contarían con analistas residentes ubicados en diversos departamentos funcionales. Este arreglo de organización proporciona una *red de analistas* para abordar los problemas de la programación lineal según se requiera. Se puede adquirir software y utilizarlo con algunas modificaciones menores hechas por estas personas para resolver problemas recurrentes del tipo de programación lineal. Ocasionalmente pudieran ser necesarios asesores para ayudar a los analistas en la formulación y resolución de problemas de programación lineal para apoyar decisiones de administración estratégica. Muchas refinerías de petróleo han escogido este arreglo organizacional.

La programación lineal es aplicable tanto a decisiones estratégicas, de un solo tipo, a largo plazo, como a decisiones recurrentes a corto plazo. Ambos tipos pueden resultar de importancia estratégica en el equipamiento de la empresa para que compita en una industria altamente competitiva. La decisión de la manera de asignar una capacidad escasa de producción y de capital entre nuevos productos en un plan a cinco años y de decidir dónde ubicar una nueva instalación de producción son ejemplos de la forma en que puede emplearse la programación lineal en decisiones estratégicas a largo plazo. El uso de la programación lineal en la planeación a mediano o corto plazo también puede ser de importancia estratégica debido a sus enormes ahorros. Algunos ejemplos de su uso son: la programación mensual de los aviones de American Airlines en la Instantánea Industrial 6.1, la determinación de la mezcla correcta de ingredientes en la refinación de los petróleos, la determinación del mejor plan de embarque entre plantas y almacenes, la formulación de un plan de producción para un fabricante y la asignación de equipo de producción a proyectos de desarrollo de nuevos productos.

Independientemente de que se seleccione un departamento formal o una red de analistas, el costo puede ser importante; por ejemplo, el grupo de American Airlines incluía casi 150 analistas. Pero el costo de no aprovechar este grupo simplemente es demasiado grande, porque si no se pueden obtener soluciones oportunas y cercanas al óptimo sobre decisiones con restricciones, queda sólo una pequeña distancia entre ser un productor de clase mundial y convertirse en un segundón en la carrera para la captura de los mercados mundiales.



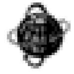
PREGUNTAS DE REPASO Y ANÁLISIS

1. ¿Qué son los recursos de un sistema de producción?
2. ¿Qué efectos causan los recursos escasos sobre la administración de la producción y de las operaciones?
3. Nombre cinco tipos comunes de decisiones con restricciones en la administración de la producción y las operaciones. Describa brevemente cada una de ellas.
4. Defina función objetivo, función de una restricción, variable de decisión, valor de la función objetivo, problema de programación lineal de maximización y problema de programación lineal de minimización.
5. Nombre cinco características de los problemas de programación lineal.
6. Nombre ocho pasos en la formulación o establecimiento de los problemas de programación lineal.
7. Nombre cuatro métodos de solución a los problemas de programación lineal.
8. Describa los elementos de un problema de programación lineal de transporte.
9. ¿Qué método de solución para programación lineal se utiliza más a menudo en la administración de la producción y de las operaciones? ¿Por qué?
10. ¿Por qué el método gráfico prácticamente no se usa para problemas reales de programación lineal en la administración de la producción y de las operaciones?

TAREAS EN INTERNET



1. Busque en Internet un paquete de software, que no haya sido mencionado en este capítulo, que resuelva problemas de programación lineal. Incluya la dirección del sitio Web del productor del software.



2. Visite alguna librería en línea como Amazon (**www.amazon.com**) y encuentre un libro introductorio sobre programación lineal. Dé la cita bibliográfica.



3. Utilice un mecanismo de búsqueda de Internet como AltaVista (**www.altavista.com**) para encontrar algún reporte o un artículo de investigación sobre programación lineal. Dé la cita bibliográfica.
4. Busque en Internet alguna empresa de consultoría en administración que se especialice en las aplicaciones de la ciencia de la administración, las herramientas de investigaciones de operaciones o el análisis de las operaciones. Explore las páginas Web de la empresa para ver si utiliza herramientas del análisis cuantitativo como son la programación lineal o la simulación. Resuma lo que encuentre, incluya la dirección de Internet de sitio Web de la empresa.

PROBLEMAS

LP-A. Sun Country Farms es una gran corporación moderna agrícola de California que, siembra maíz y trigo en un gran terreno irrigado. El maíz requiere de una tierra especial que es escasa y para este tipo de cultivo sólo están disponibles 500 acres. El trigo se puede plantar en cualquier sitio de Sun Country. Debido a la sequía, el distrito de agua regional le permitirá al Sun Country bombear 800 acres-pie de agua para las siembras de esta estación. Cada acre de maíz requiere 0.75 acres-pie de agua, y cada acre de trigo necesita de 0.05 acres de agua durante toda la estación. ¿Cuántos acres de maíz y de trigo deberá plantar Sun Country, tomando en consideración esta escasez, si la utilidad estimada por acre es de 400 dólares para maíz y 250 dólares para trigo?

LP-B. La Ohio Creek Ice Cream Company está planeando el volumen de producción para la siguiente semana. La demanda para helado premium y ligero de Ohio Creek continúa excediendo las capacidades de producción de la empresa. Ohio Creek obtiene una utilidad de 100 dólares por 379 litros de helado premium y 100 dólares por 379 litros de helado ligero. Para la siguiente semana van a escasear dos recursos que se utilizan en la producción de helado: la capacidad de la mezcladora y la existencia de leche de primera. Después de tomar en cuenta el tiempo necesario de mantenimiento, la máquina mezcladora estará disponible 140 horas la semana entrante. Trescientos setenta y nueve litros de helado de primera requiere 0.3 horas de mezclado y 379 litros de helado ligero requieren de 0.5 horas de mezclado. Solamente estarán disponibles 105,980 litros de leche de primera para la semana siguiente. Trescientos setenta y nueve litros de helado premium requieren 341 litros de leche y 379 litros de helado ligero requieren 265 litros de leche.

a. Para maximizar la utilidad total de la semana que viene, ¿cuántos litros de helado premium y ligero deberá producir Ohio Creek durante dicho periodo?
b. ¿Cuánta utilidad resultará?

LP-C. Harkin Electronics está planeando su producción del siguiente trimestre correspondiente a sus dos líneas de producto, relevadores y capacitores. La contribución a la utilidad es de 250 dólares por caja de relevadores y 200 dólares por caja de capacitores. Tres recursos limitan la cantidad que puede producir la empresa de cada uno de los productos: la mano de obra, la capacidad de estampado y la capacidad de prueba. En el siguiente trimestre estarán disponibles 80,000 horas de mano de obra; una caja de relevadores requiere de 200 horas de mano de obra y una caja de capacitores de 150. La máquina de estampado estará disponible durante 1,200 horas el siguiente trimestre y una caja de relevadores requiere de cuatro horas de la máquina de estampado y una caja de capacitores dos horas. Los relevadores requieren tres horas de prueba por caja y los capacitores cinco. La máquina de pruebas estará disponible durante 2,000 horas el siguiente trimestre.
a. Para maximizar la utilidad total del siguiente trimestre, ¿cuántas cajas de relevadores y capacitores deberá producir Harkin Electronics durante dicho periodo?
b. ¿Cuánta utilidad resultará?

LP-D. El Sureset Concrete Company produce concreto en un proceso continuo. Dos de los ingredientes del concreto son la arena, que Sureset adquiere a 6 dólares la tonelada, y la grava, que cuesta 8 dólares la tonelada. La arena y la grava juntas deben formar exactamente 75% del peso del concreto. Además, no más de 40% del concreto puede ser arena y por lo menos 30% del concreto debe ser de grava. Todos los días se producen 2,000 toneladas de concreto.
a. ¿Cuántas toneladas de arena y de grava deberá planear adquirir diariamente Sureset de tal forma que el costo total sea mínimo?
b. ¿Cuál será el costo total de arena y de grava todos los días?

LP-E. Feedco, una empresa de Lubbock, Texas, mezcla mecánicamente alimentos para generar pasturas de bajo costo para el ganado. Los ingredientes principales son avena y maíz. Los costos actuales de avena y de maíz son 10 centavos y 6 centavos de dólar por libra, respectivamente. Feedco requiere de un mínimo de 5,000 unidades de mineral, 8,000 calorías y 4,000 unidades de vitaminas diarios por cada una de las cabezas de ganado. Cada libra de avena y de maíz suministra estas cantidades:

Alimento	Unidades de minerales por libra	Calorías por libra	Unidades de vitamina por libra
Avena	200	200	100
Maíz	100	300	200

¿Cuántas libras de avena y de maíz deberán darse diariamente a cada res para minimizar los costos de pastura?

LP-F. MadeRite, fabricante de papel para copiadoras e impresoras, produce cajas de papel terminado en sus plantas 1, 2 y 3. Este papel se embarca a los almacenes A, B, C y D. El costo de embarque por caja, los requerimientos mensuales de los almacenes y los niveles mensuales de producción de las plantas son:

	Destino				Producción mensual de la planta (cajas)
	A	B	C	D	
Planta 1	$5.40 dls	$6.20 dls	$4.10 dls	$4.90 dls	15,000
Planta 2	4.00	7.10	5.60	3.90	10,000
Planta 3	4.50	5.20	5.50	6.10	15,000
Requerimientos mensuales de los almacenes (cajas)	9,000	9,000	12,000	10,000	

¿Cuántas cajas de papel deberán enviarse al mes de cada una de las plantas a cada almacén para minimizar los costos mensuales de embarque?

LP-G. Valvco, planta de maquinado de producción en Los Ángeles, manufactura válvulas grandes para cabezales de pozo para la industria petrolera. La industria produce sobre pedido dos tipos de válvulas: de compuerta y cónicas. Los pedidos pendientes de Valvco son cuantiosos y puede escoger y tomar de los pedidos disponibles para desarrollar la mejor mezcla de producción de válvulas de compuerta y cónicas. La utilidad de Valvco es de aproximadamente 1,800 dólares por cada válvula de compuerta y de 2,600 dólares por válvula cónica. En la planta, hay tres departamentos principales: fundición, maquinado y forja. Cada departamento trabaja dos turnos de ocho horas, cinco días a la semana. Las tasas de producción de las válvulas en cada departamento de producción aparecen a continuación.

Tasas de producción de los departamentos de producción (válvulas/turno)

	Fundición	Maquinado	Forja
Compuerta	2.0	1.0	0
Cónicas	1.6	2.0	0.8

Para efectos de control, la administración de Valvco requiere que cualquier válvula que se haya iniciado en cualquier semana debe terminarse en ese mismo periodo, de tal forma que no se acumule inventario en proceso durante los fines de semana. ¿Cuántas válvulas de compuerta y cónicas se producirían semanalmente para maximizar la utilidad?

LP-H. The Safari Company fabrica casas rodantes para el mercado de vehículos recreativos. Safari manufactura dos tipos de productos: Brave y Chief. La empresa está desarrollando un plan de producción para el próximo año y necesita saber cuánto de cada producto deberá producir. Esta decisión será afectada por 1) la rentabilidad de cada producto, 2) la cantidad de la escasa capacidad de producción que requiere cada línea de productos y 3) la cantidad que demandará el mercado de cada línea de productos. Después de estudiar la decisión, el analista explicó: "Deseamos producir la mezcla de productos que maximice las utilidades para el periodo dentro de las restricciones de la capacidad de producción y del mercado." La contribución promedio por producto es de 9,000 dólares para cada Brave y de 15,000 dólares por cada Chief. La capacidad de producción está limitada por dos factores: la mano de obra y la capacidad de las máquinas. En razón a convenios laborales con la fuerza de trabajo, se dispondrá de un máximo de 240,000 horas de mano de obra el año que viene para manufacturar las dos líneas de productos. Cada Brave requiere de un promedio de 80 horas de mano de obra para su manufactura, y cada Chief requiere de un promedio de 100 horas de mano de obra. Existe un máximo de 95,000 horas de máquina disponibles el siguiente año en el proceso de moldeo de carrocería, que es la operación de manufactura que determina el máximo número de productos que se pueden fabricar. Cada Brave requiere de un promedio de 25 horas de tiempo de máquina, y cada Chief de un promedio de 50 horas de máquina. El departamento de mercadotecnia estima que existirá una demanda máxima en el mercado de 2,500 casas rodantes para la combinación de los productos Brave y Chief el próximo año.

LP-I. The Superior Chemical Company fabrica pegamento para carpinteros. La empresa desea planear la mezcla de ingredientes que deben incorporarse en el pegamento el año que viene. Para ello, en esta decisión la siguiente información es importante:

Ingrediente	Costo/Libra	Instrucciones/Requerimientos de mezcla
Portador	0.50 dólares	No se pueden utilizar más de 5 libras por libra de agente adhesivo.
Relleno % Color	0.40 dólares	Están disponibles un máximo de 100,000 libras por año del único proveedor fuente.
Adhesivo	0.80 dólares	Se debe utilizar por lo menos una libra por cada cinco libras de portador.

¿Con cuánto de cada uno de los ingredientes se tendrán por lo menos 700,000 libras de pegamento el año que viene a un costo mínimo?

LP-J. La Integrated Products Corporation (IPC) está desarrollando un plan de embarques mensual para sus sistemas de cómputo. La siguiente información afecta este plan:

Planta	Capacidad mensual (sistemas)	Almacén	Requerimientos mensuales (sistemas)
Atlanta	1,600	Chicago	500
El Paso	2,400	Dallas	1,000
		Denver	800
		Nueva York	1,200
		San José	500

Planta	Almacén	Costo de embarque (dls/computadora)	Planta	Almacén	Costo de embarque (dls/computadora)
Atlanta	Chicago	45 dólares	El Paso	Chicago	60 dólares
	Dallas	50		Dallas	40
	Denver	70		Denver	45
	Nueva York	55		Nueva York	105
	San José	100		San José	50

a. ¿Qué plan de embarques minimizará los costos mensuales de embarque?
b. ¿Cuáles serán los costos mensuales de embarque del plan óptimo de embarque del inciso a?

Identificación de problemas de programación lineal

1. El Blue Dove Lumber Mill vende todos sus productos —losas de maderas duras de encino, nogal y cerezo— a un fabricante de muebles. El cliente aceptará cualquier cantidad de cada una de las tres maderas duras hasta por un total de 500,000 pies por año. El cliente pagará 450 dólares por el encino, 800 dólares por el nogal y 900 dólares por el cerezo por cada 1,000 pies de tablas. La mezcla de estos tres tipos de madera queda determinada por la mezcla de maderas que los cortadores por contrato del aserradero encuentran en el bosque. Los costos de aserrado y transporte son de 200 dólares por cada 1,000 pies de encino y de nogal, pero de 300 dólares por la misma cantidad de cerezo. Si el aserradero desea maximizar las utilidades anuales, ¿cuánto encino, nogal y cerezo debe procesar todos los años?
   a. Repase las características de un problema de programación lineal listado en la tabla 6.2 y determine si este problema cumple con todas las características.
   b. ¿Es apropiada la programación lineal para su uso en este problema?

2. Un dietólogo del U.S. Department of Health, Education and Welfare desea planear el desayuno ideal para niños de primer año. La dieta minimizaría el costo de un programa de desayunos nacionales al proporcionar una elección entre tres platillos: A, B y C. La calidad dietética de estos tres platillos es:

Platillo	Calorías	Índice de minerales	Costo/Platillo
A	950	7.00	$1.55
B	1,400	8.00	2.50
C	3,000	10.00	3.25

¿Qué mezcla de platillos A, B y C proporciona el mejor equilibrio de calorías y minerales a un costo mínimo?
   a. Repase las características de un problema de programación lineal listado en la tabla 6.2 y determine si este problema cumple con todas las características.
   b. ¿Es apropiada la programación lineal para su uso en este problema?

Formulación de problemas de programación lineal

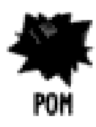
3. Formule la función objetivo y las funciones de restricción para el problema LP-A de esta sección. Defina las variables de decisión.

4. Formule la función objetivo y las funciones de restricción para el problema LP-B de esta sección. Defina las variables de decisión.
5. Formule la función objetivo y las funciones de restricción para el problema LP-C de esta sección. Defina las variables de decisión.
6. Formule la función objetivo y las funciones de restricción para el problema LP-D de esta sección. Defina las variables de decisión.
7. Formule la función objetivo y las funciones de restricción para el problema LP-E de esta sección. Defina las variables de decisión.
8. Formule la función objetivo y las funciones de restricción para el problema LP-F de esta sección. Defina las variables de decisión.
9. Formule la función objetivo y las funciones de restricción para el problema LP-G de esta sección. Defina las variables de decisión.
10. Formule la función objetivo y las funciones de restricción para el problema LP-H de esta sección. Defina las variables de decisión.
11. Formule la función objetivo y las funciones de restricción para el problema LP-I de esta sección. Defina las variables de decisión.
12. Formule la función objetivo y las funciones de restricción para el problema LP-J de esta sección. Defina las variables de decisión.

Solución gráfica de problemas de programación lineal

13. Resuelva gráficamente el problema LP-A. ¿Cuál es la solución óptima? Explique lo que significa la solución en los términos del problema original.
14. Resuelva gráficamente el problema LP-B. ¿Cuál es la solución óptima? Explique lo que significa la solución en los términos del problema original.
15. Resuelva gráficamente el problema LP-C. ¿Cuál es la solución óptima? Explique lo que significa la solución en los términos del problema original.
16. Resuelva gráficamente el problema LP-D. ¿Cuál es la solución óptima? Explique lo que significa la solución en los términos del problema original.
17. Resuelva gráficamente el problema LP-E. ¿Cuál es la solución óptima? Explique lo que significa la solución en los términos del problema original.
18. Resuelva gráficamente el problema LP-G. ¿Cuál es la solución óptima? Explique lo que significa la solución en los términos del problema original.
19. Resuelva gráficamente el problema LP-H. ¿Cuál es la solución óptima? Explique lo que significa la solución en los términos del problema original.

Resolución de problemas de programación lineal utilizando una computadora


POM

20. Utilice *POM Computer Library* o algún otro paquete de software para resolver los problemas de programación lineal que se listan a continuación. Una descripción de cómo interpretar las soluciones de computadora de los problemas de programación lineal se puede encontrar en este capítulo. Explique el significado de cada una de las soluciones en lenguaje administrativo o gerencial. Explique el significado de los precios sombra de las restricciones y de las variables no básicas.

a. LP-A	d. LP-D	g. LP-G	i. LP-I
b. LP-B	e. LP-E	h. LP-H	j. LP-J
c. LP-C	f. LP-F		

CASOS

SUN COUNTRY FARMS


POM

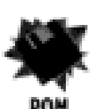
Sun Country Farms produce papas fritas congeladas en cinco plantas de la costa Oeste de Estados Unidos. Los productos se embarcan a cuatro almacenes regionales. La tabla que se da a continuación muestra el costo de transporte por caja de cada una de las plantas a cada almacén regional, los requerimientos mensuales mínimos y máximos de los almacenes y la capacidad mensual máxima de cada una de las plantas. La empresa desea embarcar toda su capacidad de planta a los almacenes regionales, de tal forma que tanto los requerimientos máximos y mínimos mensuales de los almacenes queden satisfechos, como que se minimice el costo total mensual de transporte.

	Destino				Capacidad mensual máxima de enlatadora
Fuentes	**Seattle**	**Los Ángeles**	**Denver**	**Dallas**	**(cajas)**
San José, CA	$2.90	$1.25	$3.75	$4.80	10,000
Stockton, CA	3.10	1.50	3.40	4.65	25,000
Phoenix, AZ	5.40	1.05	2.10	2.75	20,000
Eugene, OR	0.85	2.25	4.05	6.75	15,000
Bakersfield, CA	3.45	0.65	3.25	3.95	20,000
Requerimientos mensuales máximos de los almacenes (cajas)	20,000	30,000	20,000	40,000	
Requerimientos mensuales mínimos de los almacenes (cajas)	15,000	20,000	15,000	30,000	

Tarea

1. Formule la información de este caso en un formato de programación lineal. Defina las variables de decisión, escriba la función objetivo y escriba las funciones de las restricciones.
2. Utilizando el programa de cómputo de programación lineal existente en el *POM Computer Library*, resuelva el problema que usted ha formulado en el inciso número 1.
3. Interprete completamente el significado de la solución obtenida en el inciso número 2. En otras palabras, ¿qué deberá hacer la administración? Explique completamente el significado de los valores de la variable de holgura.
4. ¿De qué manera cambiarían los costos si la capacidad de la planta de San José se redujera a 5,000 cajas? ¿De qué manera cambiarían los costos si la capacidad de la planta de San José se incrementara hasta 15,000 cajas?
5. ¿Cómo cambiarían los costos si se redujeran los requerimientos mínimos mensuales en el almacén de Dallas a 29,000 cajas? ¿Y si se incrementaran a 31,000 cajas?
6. Explique la advertencia que debe observarse en la respuesta a los incisos 4 y 5.

INTEGRATED PRODUCTS CORPORATION


POM

El departamento de desarrollo de nuevos productos de Integrated Products Corporation (IPC) está planeando los proyectos del año entrante. Se han seleccionado cinco nuevos productos para desarrollar el año que viene. Cada uno de los proyectos para nuevos productos serán asignados a equipos de desarrollo; cinco de estos equipos acaban de terminar sus actuales proyectos y están listos para asumir nuevas responsabilidades. Dado que cada uno de los equipos está formado de personas con capacidades y experiencias variadas, y dado que cada uno de los proyectos requiere de personas también con capacidades y experiencias específicas, ciertos equipos son más adecuados para

asignarse a determinados proyectos. Aunque cualquiera de los equipos pudiera terminar todos los proyectos, ciertas combinaciones de equipo-proyecto serán menos eficientes, tardarán más y serán más costosas. A continuación aparece el costo estimado de que cada equipo termine cada proyecto.

	Equipo de desarrollo de nuevos proyectos				
Proyecto	1 ($000)	2 ($000)	3 ($000)	4 ($000)	5 ($000)
A	152	120	165	139	169
B	49	65	55	50	60
C	65	55	60	45	65
D	75	85	69	81	79
E	120	122	125	136	119

¿Qué proyecto deberá asignarse a cada equipo para minimizar el costo total y el presupuesto de desarrollo de nuevos proyectos del año que viene?

Tarea

1. Formule este caso como un problema de programación lineal. Defina las variables de decisión, escriba la función objetivo y escriba las funciones de las restricciones.
2. Utilizando el programa de computadora de programación lineal del *POM Computer Library*, resuelva el problema formulado en el inciso 1.
3. Interprete completamente el significado de la solución que obtuvo en el inciso 2. En otras palabras, ¿qué debería hacer la administración de IPC?
4. ¿De qué manera cambiaría la solución si un análisis posterior resultara en un incremento en el costo de desarrollo del Proyecto C por el equipo 2, de 55,000 a 66,000 dólares? Con esta nueva información, ¿a qué equipos se asignarían los proyectos?
5. Explique la precaución que debe tomarse en la respuesta al inciso 4.

JANE DEERE COMPANY

La Jane Deere Company fabrica tractores en Provo, Utah. Jeremiah Goldstein, planeador de producción, está programando la producción de tractores para los siguientes tres meses. Los factores que el señor Goldstein debe considerar incluyen los pronósticos de ventas, la disponibilidad de mano de obra en tiempo normal y extra, el costo de la mano de obra, la capacidad de almacenamiento y el costo de mantener el inventario. El departamento de comercialización ha pronosticado que la cantidad de tractores que se embarcarán durante los siguientes tres meses serán de 250, 305 y 350. Cada tractor necesita para producirse 100 horas de mano de obra. Cada mes estarán disponibles 29,000 horas de mano de obra en tiempo normal, y las políticas de la empresa prohíben que las horas extras excedan de 10% de las ordinarias. La tasa de costo de la mano de obra en tiempo ordinario es de 20 dólares-hora, incluyendo prestaciones; la tasa de costo de la mano de obra en tiempo extra es de 150% (una vez y media) la tasa de tiempo ordinaria. La capacidad de producción excedente durante un mes puede emplearse para producir tractores que se almacenarán y venderán durante un mes siguiente. Sin embargo, la cantidad de espacio de almacenamiento disponible puede albergar sólo 40 tractores. Un costo de inventario de 600 dólares es el cargo que se hace mensualmente por almacenar un tractor (si no se embarca durante el mes en que se produjo). En este momento no hay ningún tractor en almacenamiento.

¿Cuántos tractores deberán producirse cada mes utilizando el tiempo ordinario y extra para minimizar el costo total combinado de mano de obra y de inventarios? Los pronósticos de ventas, las capacidades de mano de obra en tiempo ordinario y extra, y la capacidad de almacenamiento deben cumplirse. (*Sugerencia:* durante cada mes, todas las "fuentes" de tractores deben ser iguales a los "usos" de tractores.)

Tarea

1. Formule la información en este caso en un modelo de programación lineal. Defina las variables de decisión, escriba la función objetivo y escriba las funciones de restricción.
2. Utilice el programa de cómputo de programación lineal en *POM Computer Library* para resolver este problema.

3. Interprete completamente el significado de las soluciones que usted obtuvo en el inciso 2. En otras palabras, explique en términos sencillos lo que debería recomendar el señor Goldstein. Explique totalmente el significado de los valores de las variables de holgura.

(Las respuestas a los incisos 4, 5 y 6 se derivan del listado de resultados de computadora del problema original.)

4. Si el pronóstico de demanda del mes 1 fuera de 260 en vez de 250, ¿cuánto cambiaría el costo total?
5. Si la capacidad de almacenamiento al final del segundo mes fuera de 35 en vez de 40, ¿en cuánto se modificaría el costo total?
6. Si las horas de mano de obra ordinarias disponibles del mes 2 fueran de 28,200 en vez de ser de 29,000, ¿de qué manera cambiaría el costo total? ¿Y si fueran 28,800 en vez de 29,000?
7. Explique la precaución que debe adoptarse en relación con las respuestas a los números 4, 5 y 6.

BIBLIOGRAFÍA SELECCIONADA

Al-Shammari, Minwir y Isaam Dawood. "Linear Programming Applied to a Production Blending Problem: A Spreadsheet Modeling Approach." *Production & Inventory Management Journal* 38, no. 1 (1997): 1–7.

Clauss, Francis J. *Applied Management Science and Spreadsheet Modeling*. Belmont, CA: Duxbury Press, 1996.

Gotlob, David, James S. Moore y Kim S. Moore. "Optimizing Internal Audit Resources: A Linear Programming Perspective." *Internal Auditing* 13, no. 2 (otoño de 1997): 20–30.

Guven, S. y E. Persentili. "A Linear Programming Model for Bank Balance Sheet Management." *Omega* 25, no. 4 (agosto de 1997): 449–459.

Hillier, Frederick S. y Gerald J. Lieberman. *Introduction to Operations Research*, 6a. edición, Nueva York: McGraw-Hill, 1995.

Hollorann, Thomas y Judson Byrn. "United Airlines Stationed Manpower Planning System." *Interfaces* 16, no. 1 (enero–febrero de 1986): 39–50.

Hooker, J. N. "Karmarkar's Linear Programming Algorithm." *Interfaces* 16, no. 4 (1986): 75–90.

Jackson, Bruce L. y John M. Brown. "Using LP for Crude Oil Sales at Elk Hills." *Interfaces* 10, no. 3 (junio de 1980): 65–70.

Karmarkar, N. "A New Polynomial-Time Algorithm for Linear Programming." *Combinatorica* 4, no. 4 (1984): 373–395.

Kolman, Bernard y Robert E. Beck. *Elementary Linear Programming with Applications*, 2a. edición, San Diego: Academic Press, 1995.

Mason, Richard O., James L. McKenney, Walter Carlson y Duncan Copeland. "Absolutely, Positively Operations Research: The Federal Express Story." *Interfaces* 27, no. 2 (marzo–abril de 1997): 17–36.

Murphy, Frederic H. y Venkat Panchanadam. "Understanding Linear Programming Modeling Through an Examination of the Early Papers on Model Formulation." *Operations Research* 45, no. 3 (mayo–junio de 1997): 341–356.

Taylor, Bernard W., III. *Introduction to Management Science*, 5a. ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1996.

Vanderbei, Robert J. "Linear Programming: A Modern Integrated Analysis." *Interfaces* 27, no. 2 (marzo–abril de 1997): 120–122.

Winston, Wayne L. *Introduction to Mathematical Programming*, 2a ed. Belmont, CA: Duxbury Press, 1995.

CAPÍTULO 7

PLANEACIÓN DE LA CAPACIDAD A LARGO PLAZO Y UBICACIÓN DE LAS INSTALACIONES



Introducción

Planeación de la capacidad a largo plazo
- *Definición de la capacidad de producción*
- *Medidas de la capacidad*
- *Pronóstico de la demanda de la capacidad*
- *Formas de modificar la capacidad*
- *Economías de escala*
- *Redes de subcontratistas • Producción enfocada • Economías de alcance*
- *Análisis de las decisiones de planeación de la capacidad*
- *Análisis del árbol de decisiones*

Ubicación de las instalaciones
- *Factores que afectan las decisiones de ubicación*
- *Tipo de instalaciones y sus factores de ubicación dominantes*
- *Datos, políticas, incentivos y tácticas prioritarias*
- *Análisis de ubicaciones de menudeo y de otros servicios*
- *Análisis de ubicaciones para instalaciones industriales*
- *Integración de factores cuantitativos y cualitativos en las decisiones de ubicación*

Recopilación:
Lo que hacen los productores de clase mundial

Preguntas de repaso y análisis

Tareas en Internet

Problemas

Casos
- *Blue Powder Company*
- *Integrated Products Corporation*
- *Power Byte Computers*

Notas finales

Bibliografía seleccionada

¿LA BOLSA DE VALORES DE NUEVA YORK Y UNA GRANJA PARA PUERCOS?

¿Qué tendrían en común la Bolsa de Valores de Nueva York y una granja para puercos? Respuesta: Ambas necesitan incrementar su producción a largo plazo o su capacidad de operación. Los dos relatos siguientes describen cómo dos organizaciones muy distintas, una empresa de servicio y un productor de carne, deben planear la forma de expandir su capacidad para satisfacer sus necesidades de los siguientes años.

Al igual que la milla en cuatro minutos, el día con un movimiento en la bolsa de mil millones de acciones fue un logro previsto desde hace mucho tiempo, aunque no totalmente esperado. El récord anterior, de 750 millones de acciones intercambiadas, fue destrozado cuando el volumen excedió 1,200 millones de acciones. Y ahora, los sucesos en estas semanas han hecho que los ejecutivos de Wall Street aceleren sus planes de incrementar la capacidad de sus sistemas de cómputo.

"Si la semana pasada o antes usted hubiera preguntado, le hubiera contestado que sólo hasta dentro de tres años necesitaríamos capacidad para manejar 3,500, y quizás 4,250 millones de acciones", expresó Richard Agasso, presidente del consejo y director general de la Casa de Bolsa de Valores de Nueva York. "Ahora creo que es más correcto hablar de 5,000 o 5,500 millones de acciones. Deseamos tener capacidad para manejar cinco veces nuestro volumen promedio diario. Si dentro de 10 años se supone estaremos promediando 1,000 millones de acciones por día, y esto puede resultar algo fuerte, necesitaremos capacidad para manejar 5,000 millones de acciones." Este año, el volumen promedio diario ha sido de 520 millones de acciones y nominalmente la capacidad es de 2,500 millones de acciones por día.[1]

Nippon Meat Packers, de Japón, ha entrado en acción para duplicar su plan original de una gigantesca granja porcícola cerca de Perryton, Texas, y para el año 2000 espera poder criar 1,100 millones de animales al año. Nippon reveló recientemente en Tokio que planea invertir un total de 240 millones de dólares para la construcción de 175 porquerizas, un molino para alimento y un rastro. La operación, conocida como Texas Farm, planea producir anualmente 55,000 toneladas de puerco para embarque a Japón, donde la demanda de la carne está aumentando en medio de un suministro cada vez menor.

Texas Farm ha adquirido 10,000 acres de terreno al sur de Perryton, en la parte norte del Panhandle de Texas, y planea una producción con 55,000 puercos. Cada larga porqueriza metálica puede producir cientos de animales uniformes, altamente confinados y alimentados en comederos automáticos. Este tipo de operación ha proliferado en el sudeste y en el medio oeste de Estados Unidos, pero sólo recientemente se introdujo en Texas.

A la fecha de esta publicación, Texas Farm ha terminado la construcción de 70 porquerizas, con entre 6,000 y 7,000 animales, y emplea 135 trabajadores. La empresa hasta ahora ha invertido aproximadamente 47 millones de dólares en terrenos e instalaciones. Y ha presentado cuatro solicitudes de expansión ante la Texas Natural Resource Conservation Commission, y está esperando la inminente aprobación de tres de ellas.[2]

Estas narraciones hacen énfasis en la importancia de las decisiones de planeación de las instalaciones como una estrategia empresarial para competir en los mercados mundiales. *La* ***planeación de las instalaciones*** *incluye determinar cuánta capacidad de producción a largo plazo se requiere, cuándo se necesita la capacidad adicional, dónde deben ubicarse las instalaciones de producción y la disposición física y características de dichas instalaciones.* La planeación de las instalaciones está basada en el plan estratégico a largo plazo de la empresa, mismo que traza cuáles serán las líneas de productos a producirse en cada uno de los periodos dentro del plan. Para muchas empresas, los planes para determinar la capacidad a largo plazo y la ubicación de las instalaciones son las decisiones estratégicas más importantes.

Estas decisiones son vitales ya que, en primer lugar, la inversión de capital en maquinaria, tecnología, terrenos y edificios para la manufactura y servicios es enorme. Una vez que una empresa invierte millones de dólares en una instalación, tendrá que vivir con esta decisión durante mucho tiempo. Estas decisiones, por lo tanto, son motivo de intenso estudio y se toman al más elevado nivel en la empresa. En segundo lugar, las estrategias a largo plazo forman parte de los planes para las instalaciones de una empresa. Temas como qué líneas de productos se van a hacer, dónde se

venderán y qué tecnologías se emplearán, reflejan los planes estratégicos de la firma, y estos problemas también se resuelven en los niveles más elevados de la empresa. En tercer lugar, la eficiencia operativa de las instalaciones depende de la capacidad de las instalaciones. Entre los factores que se ven afectados por la capacidad de las instalaciones están los costos de mantenimiento, la facilidad de la programación y las economías de escala. Cuarto, la capacidad de las instalaciones es una restricción para muchas otras decisiones de administración de la producción y de las operaciones. Qué cantidad de un producto puede producirse económicamente en un periodo específico es un factor limitante para la planeación de la producción a corto plazo.

En este capítulo, desarrollaremos un marco para la planeación de la capacidad de las instalaciones a largo plazo, exploraremos algunos de los problemas importantes existentes hoy en la planeación de la capacidad y estudiaremos algunos de los métodos utilizados para analizar las decisiones de ubicación de las instalaciones dentro de la administración de la producción y de las operaciones.

PLANEACIÓN DE LA CAPACIDAD A LARGO PLAZO

Por lo general, las decisiones de la planeación de la capacidad involucran estas actividades:

1. Estimar la capacidad de las instalaciones actuales.
2. Pronosticar las necesidades de capacidad futura a largo plazo para todos los productos y servicios.
3. Identificar y analizar fuentes de capacidad para poder cumplir con futuras necesidades de capacidad.
4. Seleccionar de entre fuentes alternas de capacidad.

DEFINICIÓN DE LA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN

En general, la **capacidad de producción** es la tasa máxima de producción de una organización. Varios factores subyacentes al concepto de capacidad hacen que su uso y comprensión resulten algo complejos. Primero, se combinan las variaciones diarias, como el ausentismo de los empleados, las fallas en el equipo, las vacaciones y los retrasos en la entrega de los materiales, para hacer incierta la tasa de producción de las instalaciones. Segundo, las tasas de producción para diferentes productos y servicios no son iguales. Por lo tanto, mensualmente pudieran producirse 55,000 de A o bien 20,000 de B, o alguna combinación de A y B. Por lo tanto, deberá tomarse en consideración la mezcla de productos al estimar la capacidad. Tercero, ¿cuál es el nivel de capacidad del que estamos hablando? ¿El máximo posible, la capacidad basada en un calendario para una semana de cinco días, la capacidad práctica basada en el uso de las instalaciones existentes, sin tener necesidad de poner a funcionar instalaciones fuera de servicio, o algún otro nivel?



El Federal Reserve Board mide y monitorea la producción y la capacidad industrial en Estados Unidos (**www.bog.frb.fed.us**). Define **capacidad práctica sustentable** como "el nivel más elevado de volumen de producción que puede mantener una planta, dentro del marco de un programa realista de trabajo, tomando en cuenta el tiempo muerto normal y suponiendo una disponibilidad de insumos suficiente para operar la maquinaria y el equipo instalado".[3]

MEDIDAS DE LA CAPACIDAD

Para aquellas empresas que sólo producen un producto, o unos cuantos productos homogéneos, las unidades utilizadas para medir la capacidad de salida son simples: automóviles mensuales, toneladas de carbón por día, o barriles de cerveza por trimestre, son ejemplos de este tipo de mediciones. Sin embargo, cuando en una instalación se produce una mezcla formada por productos como podadoras, semillas para pasto y muebles para intemperie, la diversidad de los productos presenta un problema para medir la capacidad. En estos casos, debe establecerse una **unidad agregada de capacidad**. Esta medida agregada de capacidad debe permitir que se conviertan las tasas de producción de diversos productos a una unidad común de medición de la salida. Por ejemplo, como medidas agregadas de capacidad entre productos diversos frecuentemente emplean medidas como toneladas por hora y dólares de venta por mes.

En la planeación para la capacidad de los servicios, la medición de los volúmenes son particularmente difíciles. En estos casos, se pudieran utilizar medidas de capacidad de tasas de entrada. Por ejemplo, las aerolíneas utilizan millas-asiento mensuales disponibles, los hospitales utilizan camas disponibles por mes, los servicios fiscales días-contador disponibles mensuales, y las empresas de servicio de ingeniería utilizan horas-hombre por mes.



Proveer capacidad a largo plazo significa hacer que estén disponibles instalaciones de producción, lo que pudiera significar construir edificios adicionales.

"El uso de las plantas estadounidenses aumentó a 85% de su capacidad en diciembre, la tasa más elevada desde 1985": ¿qué significa esto? **El porcentaje de utilización de la capacidad** relaciona la medición de los volúmenes de salida con las entradas disponibles. Por ejemplo, un servicio fiscal que tenía disponibles 10,000 horas de mano de obra durante marzo, sólo utilizó 8,200 horas de mano de obra para llenar las demandas de sus clientes. Dividimos las horas de mano de obra reales utilizadas, entre las horas de mano de obra máximas disponibles durante un programa normal, para llegar a un porcentaje de utilización de la capacidad, es decir, en este caso, 82%. Otro porcentaje comúnmente utilizado en cálculos de utilización de la capacidad son los automóviles producidos por trimestre, divididos entre la capacidad trimestral de producción de automóviles, y los asientos de aerolínea ocupados por mes, divididos entre la capacidad mensual de asientos de la aerolínea.

PRONÓSTICO DE LA DEMANDA DE LA CAPACIDAD

Proveer capacidad a largo plazo significa poner a disposición instalaciones de producción: terrenos, máquinas, herramientas, materiales, personal y servicios generales. La planeación, adquisición, construcción, arranque y capacitación requerida para una nueva instalación de producción podría tomar de 5 a 10 años, y entonces, por lo general se espera que este tipo de instalación se conservará económicamente productivo durante otros 15 a 20 años. El pronóstico de demanda para productos y servicios que este tipo de instalación debe producir, por lo tanto, deberá necesariamente abarcar de 10 a 30 años. Los pronósticos que cubren estos extensos lapsos son difíciles de hacer, dado que pueden ocurrir cambios fundamentales en la economía, modificaciones en la preferencia de los clientes, desarrollos tecnológicos, desplazamientos demográficos, cambios en las reglamentaciones gubernamentales, sucesos políticos y militares, así como otros desarrollos.

Dada la relativamente larga vida de una instalación de producción, tienen que tomarse en consideración los ciclos de vida del producto (introducción, crecimiento, madurez y declinación). Conforme un producto recorre su ciclo de vida, la capacidad de producción necesaria también tendrá que cambiar y deberán tomarse las provisiones necesarias para expandir o contraer la capacidad. Los desarrollos tecnológicos deben preverse e integrarse en la planeación de las instalaciones, ya que pueden afectar de manera dramática la forma en que se elabora un producto, y todo ello afectará a la capacidad.

El pronóstico de la capacidad de producción para un producto o servicio generalmente implica cuatro pasos. Primero, se estima la demanda total de un producto o servicio en particular, incluyendo a todos los productores. Segundo, se estima la participación en el mercado (porcentaje de la demanda total) de una empresa en particular. Tercero, se multiplica la participación en el merca-

do por la demanda total, para obtener la demanda estimada para esta empresa. Finalmente, se traduce la demanda de productos o servicios en necesidades de capacidad. Una vez que la empresa haya llegado a su mejor estimación de la demanda para sus productos y servicios, deberá determinar la capacidad de producción que debe proveer para cada producto o servicio.

Existen varias razones por las que la capacidad de producción a proveerse no necesariamente resulta igual a la cantidad de productos y servicios que se espera se demanden. Primero, pudiera ser que no estuvieran económicamente disponible suficientes capitales y otros recursos para satisfacer toda la demanda. Segundo, dada la incertidumbre de los pronósticos y la necesidad de vincular la capacidad de producción con estrategias de las operaciones en función a prioridades competitivas, pudiera definirse un colchón de capacidad. Un **colchón de capacidad** es una cantidad adicional de capacidad de producción, que se agrega a la demanda esperada, para permitir:

- Tener capacidad adicional en caso de que ocurra más demanda que la esperada.
- La capacidad de satisfacer la demanda durante temporadas de demanda pico.
- Reducir los costos de producción; las instalaciones de producción que se operan a volúmenes muy próximos a su capacidad sufren de costos más elevados.
- Flexibilidad en productos y volúmenes; sería posible responder a las necesidades de los clientes para productos diferentes y volúmenes más elevados gracias a una capacidad adicional.
- Mejor calidad de productos y servicios; las instalaciones de producción que operan volúmenes demasiado próximos a su capacidad experimentan deterioros en la calidad.

Otra consideración importante en la determinación de cuánta capacidad a largo plazo debe proveer una empresa individual para sus productos y servicios es la capacidad que probablemente añadirán sus competidores. Si en una rama industrial los competidores han agregado o se espera agreguen capacidad de tal manera que genere una situación de exceso de capacidad, la empresa deberá volver a calcular cuánta capacidad, si es que alguna, deberá agregar. Las videocintas, la película de polietileno, los semiconductores, los automóviles y las computadoras personales son ejemplos de cómo un exceso de capacidad industrial puede conducir a contracción de los precios y a falta de rentabilidad. La Instantánea industrial 7.1 analiza la capacidad excedente de la industria automotriz en Asia.

FORMAS DE MODIFICAR LA CAPACIDAD

Una vez estimadas las necesidades de capacidad a largo plazo a través de pronósticos también a largo plazo, existen muchos caminos para obtener esa capacidad. Las empresas pueden encontrarse ante una situación de escasez de capacidad, si la capacidad actual es insuficiente para llenar la demanda pronosticada para sus productos y servicios, o pueden tener desde ahora capacidad en exceso a las capacidades esperadas para el futuro. La tabla 7.1 lista algunas de las maneras en las que los gerentes pueden hacer frente a las cambiantes necesidades de capacidad a largo plazo de

TABLA 7.1 **MANERAS DE MODIFICAR LA CAPACIDAD A LARGO PLAZO**

Tipo de modificación de la capacidad	Manera de encarar los cambios a largo plazo en la capacidad
Expansión	1. Subcontratar a otras empresas para que se conviertan en proveedores de componentes o de productos completos de la firma en expansión. 2. Adquirir otras empresas, instalaciones o recursos. 3. Desarrollar sitios, construir edificios, adquirir equipo. 4. Expandir, actualizar o modificar instalaciones existentes. 5. Reactivar instalaciones que están en estado de reserva.
Reducción	1. Vender instalaciones, vender inventarios, y despedir o transferir empleados. 2. Guardar las instalaciones y colocarlas en un estado de reserva, vender inventarios y despedir o transferir empleados. 3. Desarrollar e introducir nuevos productos conforme se introducen otros.

INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 7.1

FABRICANTES DE AUTOMÓVILES ENCARAN CAPACIDADES EXCEDENTES EN ASIA

La demanda de automóviles de importación japoneses y estadounidenses ha disminuido bruscamente en el sudeste de Asia al perder valor divisas y mercados de valores en Tailandia, Malasia e Indonesia. A pesar de la crisis económica de la región, los grandes fabricantes mundiales de automóviles han mantenido su empuje expansionista en el sudeste de Asia.

Aun cuando algunos expertos industriales insisten en que deberían detenerse, General Motors y Ford Motor siguen ocupados construyendo enormes plantas de ensamble en Tailandia y preparándose a abrir más fábricas en el sudeste de Asia y China. Incluso, Ford está abriendo una planta nueva en Vietnam. General Motors, Ford, Chrysler, Toyota y Honda operan actualmente más de 20 fábricas en la región.

Los gigantes automotrices están apostando a que el potencial futuro del sudeste de Asia merece el riesgo. "Se tiene que lanzar el dado", afirma J. T. Batteberg III, presidente de la división de refacciones automotrices de General Motors. Sin embargo, algunos analistas de Wall Street están preocupados por la expansión en el sudeste de Asia. "Esta rama industrial es suicida", asegura Maryann N. Keller, analista automotriz de Furman Selz, empresa neoyorkina de banca de inversión y corretaje. Está preocupada porque la industria automotriz ya tiene más capacidad mundial de la necesaria, y se siguen construyendo fábricas. "Simplemente, deberían parar. Éste no va a resultar un problema de sólo 12 meses para Tailandia", pronostica la señora Keller. De acuerdo con Nariman Behravesh, economista internacional en jefe en el DRI de Standard & Poor, "en Asia, en algún momento en los 3 a 5 años siguientes la industria automotriz va a sufrir una sacudida".

Ante la expansión en capacidad de la industria automotriz que está ocurriendo en Asia, Chrysler canceló sus planes de abrir una nueva fábrica en Vietnam, decidió enfocar sus planes de expansión de capacidad hacia Sudamérica, en vez de al este de Asia.

Fuente: Meredith, Robyn. "Auto Giants Build a Glut of Asia Plants, Just as Demand Falls". *New York Times*, 5 de noviembre de 1997, C1, C8; "Despite Slowdown in Asia, Auto Makers Keep Building". *New York Times*, 5 de noviembre de 1997, A1.

las organizaciones. La Instantánea Industrial 7.2 ilustra la forma en que a veces las empresas encaran una escasez o superávit de la capacidad.

Un camino generalmente preferido por los gerentes de operaciones para mantener niveles de utilización elevados de las instalaciones para sus productos y servicios actuales, a pesar de una demanda a largo plazo en declinación, es introducir productos nuevos que sustituyan los más antiguos y en declinación. La figura 7.1 muestra la forma en que la empresa pudiera diseñar y desarrollar nuevos productos conforme, los anteriores van disminuyendo. Esta introducción puede resultar una fuerza motivadora clave para el desarrollo de nuevos productos y servicios.

Si como mejor fuente alternativa de capacidad adicional los gerentes de operaciones deciden construir nuevas instalaciones, un aspecto importante es la temporalidad de las decisiones relacionadas con la capacidad. La Instantánea Industrial 7.3 ilustra la manera en que una empresa está tomando en cuenta el tiempo para la apertura de sus nuevas instalaciones para que coincidan con la demanda.

ECONOMÍAS DE ESCALA

Para una cierta instalación de producción, existe un volumen anual de salidas (producción) que da como resultado el costo unitario promedio más bajo. Este nivel de salida se conoce como el **nivel óptimo de operación** de la instalación. La figura 7.2 ilustra este principio. Observe que, conforme se incrementa el volumen anual de salidas partiendo de cero en una instalación productiva en particular, se reducen los costos unitarios promedio. Estos costos en disminución son el resultado de que un mismo costo se distribuya entre más y más unidades, de corridas de producción más largas que dan como resultado una proporción más pequeña de mano de obra asignada a la preparación y cambios de máquina, a proporcionalmente menos desperdicios de material y a otras economías. Estos ahorros, que se conocen como **economías de escala**, se siguen acumulando al incrementarse el volumen de salidas hasta el nivel óptimo de operación correspondiente a esa instalación en particular.

INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 7.2

MUY POCA CAPACIDAD Y CAPACIDAD EN EXCESO

Los siguientes relatos de Boeing y de fabricantes de automóviles en Brasil ilustran que en ocasiones, las empresas se las arreglan para incrementar la capacidad y a veces tienen que hacer cosas extraordinarias para reducirla.

Los negocios son tan buenos en Boeing que está perdiendo dinero. Hace tres años Boeing el fabricante más grande del mundo de jets comerciales, redujo su capacidad de producción y eliminó 12,000 trabajadores debido a bajas ventas. Ahora Boeing se ha encontrado de repente con un giro brusco en los pedidos y recientemente ha contratado a 32,000 personas, con planes de contratar aún más.

Irónicamente, la duplicación reciente de los pedidos de jets le va a costar a Boeing el próximo año 2,600 millones de dólares, noticia que hizo que el precio de sus acciones cayera más de 7%. En un esfuerzo para llenar todos los nuevos pedidos, Boeing hizo más que duplicar su tasa de producción de 18 a 43 aviones mensuales. Intentó incrementar su capacidad tan rápidamente como fuera posible; desafortunadamente, la pobre planeación de capacidad para esta mayor tasa de producción causó muchos problemas, tales como carencia de mano de obra adiestrada, faltantes en componentes, una línea de ensamble enredada y retrasos en las entregas de las aeronaves. Para intentar desenmarañar problemas, Boeing ha tenido que suspender la producción de algunos modelos de aviones, y reducir la producción de otros. Estima que solucionar todos los problemas pudiera requerir de seis a nueve meses.[a]

Los fabricantes de automóviles del mundo, duramente golpeados por la reciente crisis económica en Brasil, están reaccionando rápidamente. Hasta antes de la crisis económica, se esperaba que las ventas automotrices brasileñas tendrían un gran crecimiento el siguiente año. General Motors, Ford, Chrysler, Toyota y Mercedes tienen nuevas plantas en construcción, pero ahora se espera un desplome en la venta de automóviles.

En respuesta, los fabricantes de automóviles han tratado de reducir rápidamente producción y capacidad. General Motors ha cancelado 25% de la producción; Ford cerró durante dos semanas su planta brasileña; Volkswagen empezó con una reducción de la semana de trabajo en dos de sus plantas en São Paulo, operando solamente tres días a la semana en vez de cinco. Los analistas sostienen que las rápidas maniobras de los fabricantes de automóviles son adecuadas e inteligentes, dada la volatilidad mostrada en el pasado por la economía brasileña.[b]

Fuentes:
a. "Boeing Hitting Turbulence: 747 Production to Halt 20 Days; 737 Slowdown." *Houston Chronicle*, 4 de octubre de 1997, 2C; "Boeing Victimized by Success." *Houston Chronicle*, 23 de octubre de 1997, 3C; b. Maynard, Micheline. "Auto Industry Reacts Quickly." *USA Today*, 17 de noviembre de 1997, 3B.

FIGURA 7.1 EFECTOS DE LA TEMPORALIDAD DE DOS PRODUCTOS SOBRE LA UTILIZACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LAS INSTALACIONES

Porcentaje de la utilización de la capacidad de las instalaciones
120
100
80
60
40
20
Utilización de la capacidad agregada
Producto X
Producto Y
Producto Z
1990 1991 1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998
Tiempo (años)

INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 7.3

INTEL RETRASA LA APERTURA DE UNA NUEVA PLANTA

Intel acaba de anunciar que pospondrá un año el inicio de producción en su planta en construcción de Fort Worth Texas. El fabricante de microprocesadores está esforzándose en hacer frente a una demanda variable del producto.

La planta de Fort Worth originalmente se planeó para producir los actuales chips de memoria lógica de Intel que son los "cerebros" de la mayoría de las computadoras personales. Otra planta Intel recién terminada en Israel se planeó para producir chips de memoria "flash" que se utilizan en productos como teléfonos celulares y cámaras digitales. Sin embargo, un súbito giro a la baja en el mercado de chips de memoria flash, causada por mayor competencia y exceso en la oferta, ha hecho que Intel cambie sus planes de producción. La planta en Israel ahora se ha programado para que produzca los actuales chips de memoria lógica de Intel y la planta de Fort Worth producirá la siguiente generación de chips de memoria lógica de Intel.

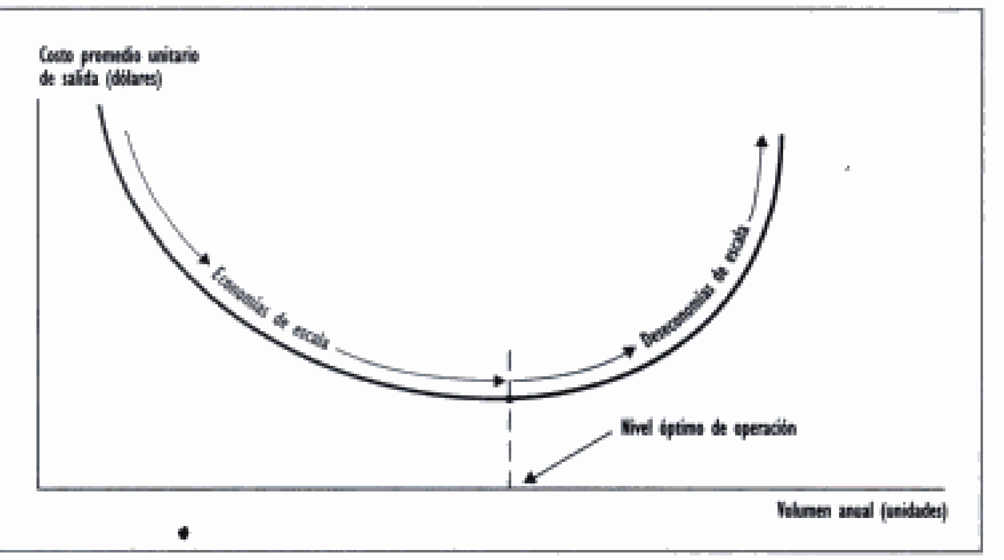
Cuando se abra la planta de 1,300 millones de dólares de Fort Worth, inicialmente ocupará alrededor de mil personas, pero finalmente crecerá hasta 8,000. La planta de Fort Worth será la octava planta fabricante de chips de Intel en Estados Unidos.

La planeación y construcción de una fábrica de semiconductores puede tomar varios años. La mayor parte de la inversión en la planta de chips corresponde a equipo. Al posponer en la planta de Fort Worth el inicio de la producción, Intel puede seguir adelante con la construcción en marcha del edificio, pero retrasando la adquisición de equipo costoso y la contracción de empleados, hasta justo antes que esa capacidad adicional sea necesaria.

Fuente: Goldstein, Alan. "Intel Delays FW Plant Production." *Dallas Morning News*, 24 de octubre de 1997, 1D, 11D; Piller, Dan. "Intel Plant Delayed by One Year." *Fort Worth Star-Telegram*, 24 de octubre de 1997, 1A, 21A.

Más allá de este punto, sin embargo, un volumen adicional de producción causa crecimiento de los costos unitarios promedio. Estos costos en incremento ocurren debido a una mayor congestión de materiales y personal que contribuye a incrementar ineficiencias, a dificultades en la programación, a bienes dañados, a una disminución de la moral, a una mayor utilización del tiempo extra y a otras deseconomías. Más allá del nivel óptimo de operación correspondiente a dicha instalación, el impacto de estos factores, conocidos como deseconomías de escala, se incrementa a una tasa siempre en aceleración.

FIGURA 7.2 ECONOMÍAS Y DESECONOMÍAS DE ESCALA



los costos de construcción pudieran resultar inferiores. Además, evitamos el riesgo de vernos obligados a rechazar futuros negocios si nuestro pronóstico a largo plazo resulta demasiado bajo, e inadecuada nuestra capacidad. *Pero una de las causas principales de sobrecapacidad en la industria es el argumento que instalaciones más grandes logran economías más grandes de escala.* Una de las mayores preocupaciones sobre la construcción de una instalación grande es que los fondos quedarán atados a capacidades excedentes sobre las que durante varios años no se va a tener ningún rendimiento. Esto da como resultado, o bien un mayor gasto en pago de intereses, o ingresos no captados ya que los fondos no estuvieron disponibles para otras inversiones que hubieran podido generarlos.

Para la mayoría de las empresas no es una elección clara escoger entre expandir la capacidad de una sola vez o de manera incremental. En productos maduros, con patrones de demanda estables y predecibles, las empresas están más dispuestas a construir desde ahora la instalación final. En el caso de productos nuevos, sin embargo, las empresas se inclinan más a una estrategia de expansión incremental, dados los riesgos de pronóstico y la naturaleza impredecible de sus demandas a largo plazo. La elección final diferirá de una empresa a otra en razón a la naturaleza de sus productos, a la disponibilidad de los fondos de inversión, a su actitud hacia el riesgo y a otros factores.

Redes de subcontratistas Una alternativa viable a instalaciones de producción de gran capacidad es desarrollar **redes de subcontratistas y suministros**. Al apoyarse en una menor integración vertical hacia atrás, los fabricantes "padres" desarrollan relaciones contractuales a largo plazo con proveedores de piezas, componentes y ensambles. Este procedimiento permite a los manufactureros "padres" operar con una capacidad menor en sus propias instalaciones, ya que una gran parte de sus necesidades de capacidad ha sido "lanzada afuera" hacia sus proveedores. No sólo este tipo de procedimiento requiere menos capitales para instalaciones de producción, sino que también los fabricantes "padres" pueden modificar más fácilmente su capacidad durante periodos de baja o de pico en la demanda. Dado que los incrementos o decrementos pueden ser parcialmente absorbidos por proveedores, los manufactureros "padres" pueden ofrecer mejores políticas de empleo a largo plazo para su fuerza de trabajo.

Producción enfocada Dos conceptos de importancia entran en conflicto al planear la capacidad de la producción: las economías de escala y la producción enfocada. La **producción enfocada** es el principio de que cada instalación de producción debiera de alguna manera estar especializada para ser menos vulnerable a la competencia. Mientras que las economías de escala pueden llevar a instalaciones de producción más grandes, de alguna forma una producción enfocada lleva a instalaciones más pequeñas. Mientras estén persiguiendo alcanzar un nivel óptimo de operación para cada instalación, por lo tanto, las empresas deben, desarrollar planes sobre la forma en que puede especializarse cada instalación. De manera similar a sus contrapartidas en el extranjero, los productores estadounidenses están tendiendo a instalaciones de producción más pequeñas y más especializadas.

Economías de alcance Otro concepto importante, que se debe tomar en consideración al estudiar las economías de escala y la producción enfocada, son las **economías de alcance**. Las economías de alcance se refieren a la capacidad de producir muchos modelos de productos en una instalación de producción muy flexible más económicamente que en instalaciones de producción por separado. El pensamiento tradicional ha supuesto que conforme aumenta la inversión en capitales, máquinas y automatización, debe disminuir la flexibilidad en el producto y que una producción automatizada sólo puede justificarse con productos de alto volumen en razón a sus economías de escala. Pero los adelantos tecnológicos en el desarrollo de una automatización programable, descrita en el capítulo 5, han hecho obsoleta esta manera de pensar. Ahora, una automatización muy flexible y programable permite a los sistemas de producción cambiar a otros productos rápida y económicamente, con el resultado de crear economías al distribuir el costo de las instalaciones automatizadas sobre muchas líneas de productos.

ANÁLISIS DE LAS DECISIONES DE PLANEACIÓN DE LA CAPACIDAD

Las decisiones de planeación de las instalaciones se pueden analizar utilizando diferentes procedimientos. El **análisis de punto de equilibrio**, que se vio en el capítulo 4, se usa por lo común pa-

ra comparar las funciones de los costos de dos o más alternativas de instalación; también es de particular utilidad en la planeación de la capacidad a largo plazo el **análisis del valor presente**. La **simulación por computadora** y el **análisis de colas de espera**, ilustrados en el capítulo 13, también pueden emplearse para analizar decisiones de planeación de la capacidad. La **programación lineal**, analizada en el capítulo 6, también se utiliza en estas decisiones; este procedimiento se usará posteriormente en este capítulo para analizar decisiones de ubicación de las instalaciones.

Además de estas técnicas, los árboles de decisiones son particularmente útiles en el análisis de decisiones de planeación de las instalaciones.

ANÁLISIS DEL ÁRBOL DE DECISIONES

Las decisiones sobre la planeación de las instalaciones son complejas. A menudo son difíciles de organizar, ya que se trata de **decisiones con varias fases**, involucrando varias decisiones interdependientes que deben efectuarse en secuencia. Se han desarrollado los árboles de decisión para decisiones en múltiples fases como ayuda para los analistas que deben ver con claridad qué decisiones deben tomarse, en qué secuencia deben ocurrir las decisiones, y cuál es la interdependencia entre éstas. Esta capacidad de estructurar la forma en que pensamos sobre decisiones con varias fases simplifica el análisis.

El ejemplo 7.1 demuestra lo esencial en el **análisis del árbol de decisiones**. Esta forma de análisis da a los gerentes:

- Una forma de estructurar decisiones complejas con varias fases, al mostrar las decisiones desde el presente hacia el futuro.
- Una forma directa de tratar con eventos inciertos.
- Una forma objetiva de determinar el valor relativo de cada alternativa de decisión.

En el análisis del árbol de decisiones deberá tenerse cierta precaución en relación con la interpretación del valor esperado (EV). Pudiéramos cometer el error de interpretar el EV de cada decisión literal y absolutamente. Los EV son sólo **medidas relativas del valor**, no **absolutas**. Veamos las utilidades (pérdidas) del ejemplo 7.1. Estos son resultados posibles para la alternativa en estudio (en dólares): 30,000, 490,000, (110,000) o 2,000. Sólo uno de estos valores será finalmente materializado para quien toma la decisión. El EV de 66,000 dólares jamás será alcanzado por la empresa. El EV es sólo una medida del valor de esta alternativa en relación con las demás.

El **valor esperado como criterio de decisión** varía en efectividad dependiendo de la situación de la decisión. Si se trata de una decisión para una sola vez, que es como generalmente se dan las decisiones de planeación de las instalaciones, de administración de la producción y de las operaciones, el valor esperado es, en el mejor de los casos, sólo una medida relativa del valor.

Pero incluso si en los árboles de decisión no se incluyen valores esperados o probabilidades, debe reconocerse el valor que poseen como forma útil de organizar la manera en que pensamos sobre decisiones complejas con varias fases. Esta herramienta permite a quienes toman decisiones ver claramente qué decisiones deben tomarse, en qué secuencia deben ocurrir y cuál es su interdependencia. Si se interpreta correctamente, el valor esperado es una bonificación adicional.

Independientemente de las técnicas específicas que se empleen para analizar las decisiones de planeación de la capacidad a largo plazo, usted debe saber que éstas son de las que más involucran a los gerentes de las operaciones debido a la importancia que tienen, como vimos al principio de este capítulo.

Cuando las capacidades de las instalaciones existentes no son adecuadas para llenar las necesidades de capacidad a largo plazo y deben construirse, alquilarse o adquirirse nuevas instalaciones, un problema importante que debe definirse es dónde ubicar estas nuevas instalaciones.

EJEMPLO 7.1

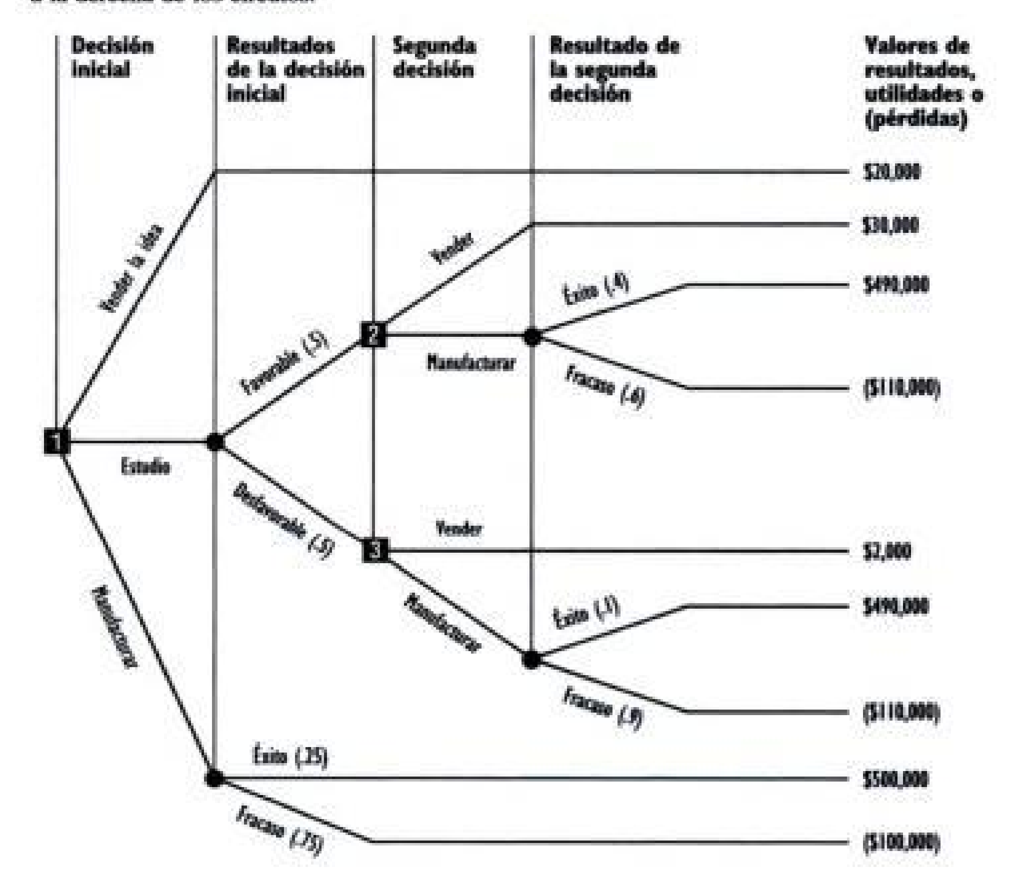
ÁRBOL DE DECISIONES: ¿MANUFACTURAR O NO MANUFACTURAR?

Biltmore Manufacturing ha desarrollado un nuevo producto prometedor. La gerencia de la empresa encara tres opciones: puede vender la idea del nuevo producto a otra compañía por 20,000 dólares; puede contratar un asesor para que estudie el mercado y tomar una decisión o puede obtener financiamiento para la construcción de instalaciones y manufacturar y comercializar dicho producto.

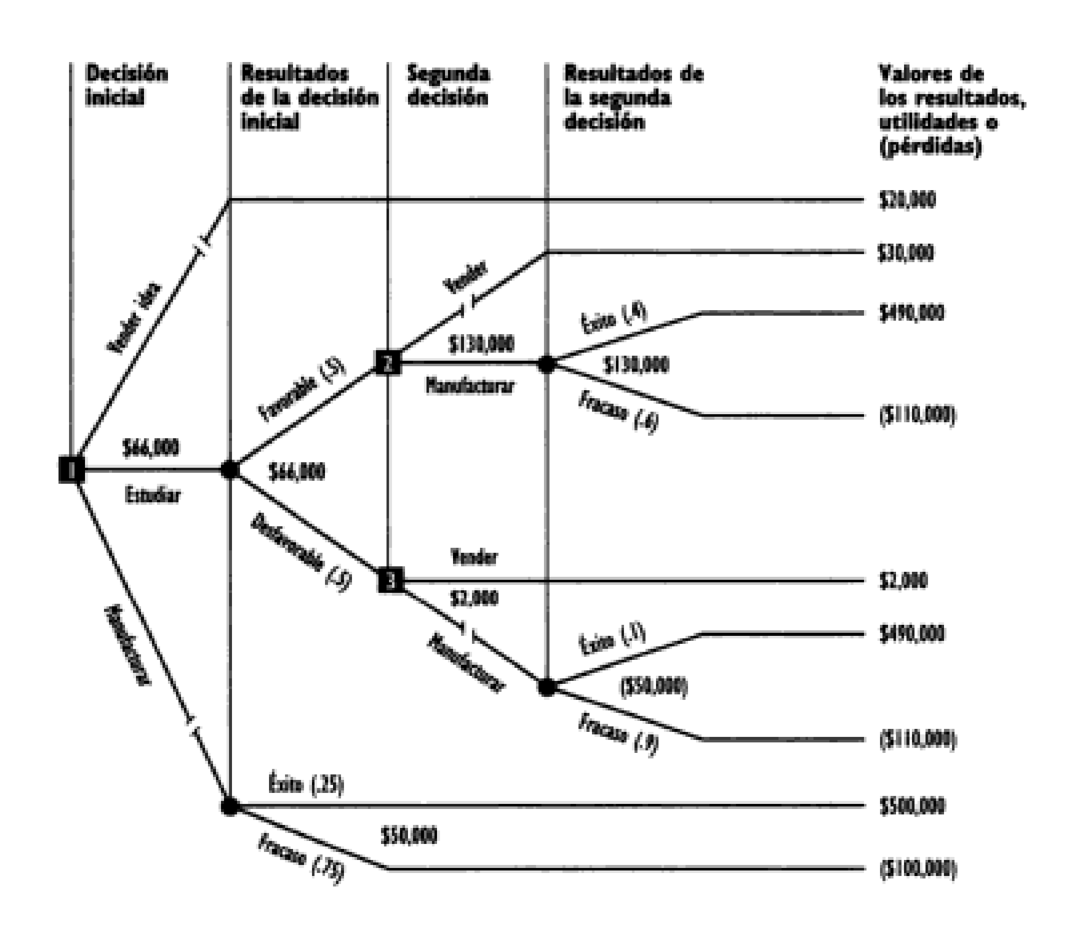
El estudio le costará a Biltmore 10,000 dólares, y la administración cree que existe una probabilidad de 50-50 de que éste encuentre que el mercado es favorable. Si el estudio indica desfavorable, la gerencia calcula que aún así podrá vender la idea en 12,000 dólares; si el estudio indica favorable, calcula que podrá vender la idea en 40,000 dólares. Pero incluso si se encuentra un mercado favorable, la oportunidad de tener un producto final de éxito es aproximadamente dos de cada cinco. Un producto de éxito tendría un rendimiento de 500,000 dólares. Incluso ante un estudio no favorable, un producto de éxito se puede esperar que ocurra una vez cada diez introducciones de nuevos productos. Si la gerencia de Biltmore decide manufacturar el producto sin estudio, sólo habrá una oportunidad en cuatro de que tenga éxito. Una falla del producto costará 100,000 dólares. ¿Qué debería hacer Biltmore?

SOLUCIÓN

1. Dibuje un árbol de izquierda a derecha con cuadros (□) como las decisiones y círculos (○) para los eventos aleatorios. Estas decisiones y eventos aleatorios a menudo se conocen como **nodos u horquillas**. Escriba los valores de los resultados (pérdidas o ganancias) sobre el margen derecho, y la probabilidad de la ocurrencia de los sucesos entre paréntesis en las ramas, a la derecha de los círculos.



2. Procediendo de derecha a izquierda, calcule el valor esperado (EV) en cada círculo de los eventos aleatorios, hasta llegar a la segunda decisión. Escriba el valor de EV a la derecha de cada círculo. Por ejemplo, el EV de los eventos aleatorios de manufactura —decisión 2— se calcula así: EV = 0.4(490,000 dls) + 0.6(−110,000 dls) = 130,000 dls. Al continuar de derecha a izquierda, decida cuál de las alternativas para la segunda decisión (2 y 3) tiene el EV más elevado. Escriba el EV seleccionado a la derecha de los cuadros de decisión y pode (–/ /–) todas las demás ramas. Continúe trabajando de derecha a izquierda como antes, y calcule el EV para la decisión inicial. Por ejemplo, el EV para la alternativa del estudio se calcula como sigue: EV = 0.5(130,000 dls) + 0.5(2,000 dls) = 66,000 dólares.



3. El EV de la decisión inicial es 66,000 dólares. La secuencia de decisiones se deduce al seguir las ramas no podadas del árbol de izquierda a derecha: estudio, si favorable, manufacturar; si desfavorable, vender.

UBICACIÓN DE LAS INSTALACIONES

Las decisiones de ubicación de las instalaciones no se pueden tomar a la ligera. Por el contrario, antes de seleccionar el sitio final, generalmente involucran largos y costosos estudios de ubicaciones alternativas. Quienes hayan pasado a través de varios de estos estudios generalmente concluyen que no existe una ubicación óptima evidente, sino varias ubicaciones buenas. Si en todos los aspectos, un sitio es claramente superior a los demás, la decisión de ubicación es fácil. Típicamente, sin embargo, varios candidatos, cada uno con sus puntos fuertes y sus puntos débiles, aparecen como buenas elecciones, y la decisión de ubicación se convierte en una decisión de intercambio: usted podrá ganar algún tipo de beneficio sólo al sacrificar otro. Estas **decisiones de intercambio** entre sitios pueden ser muy estresantes y por lo general sólo se resuelven después de una ponderación larga y cuidadosa de los pros y los contras de cada ubicación.

Las decisiones de ubicación se comprenden mejor al examinar los factores que por lo común afectan la selección final de las ubicaciones de instalación.

FACTORES QUE AFECTAN LAS DECISIONES DE UBICACIÓN

La selección de una ubicación de instalación generalmente involucra una secuencia de decisiones que puede incluir una decisión nacional, una decisión regional, una decisión de localidad y una decisión de sitio. La figura 7.4 muestra esta secuencia de decisión de ubicación.

Primero, la gerencia debe decidir si la instalación quedará ubicada *internacional* o *domésticamente*. Hasta hace unos cuantos años, esta elección hubiera recibido muy poca atención. Hoy día, sin embargo, con la internacionalización de los negocios, los gerentes están considerando rutinariamente *en qué parte del mundo* deben ubicar sus instalaciones. La Instantánea Industrial 7.4 ilustra la manera en que las decisiones de ubicación atraviesan las fronteras nacionales.

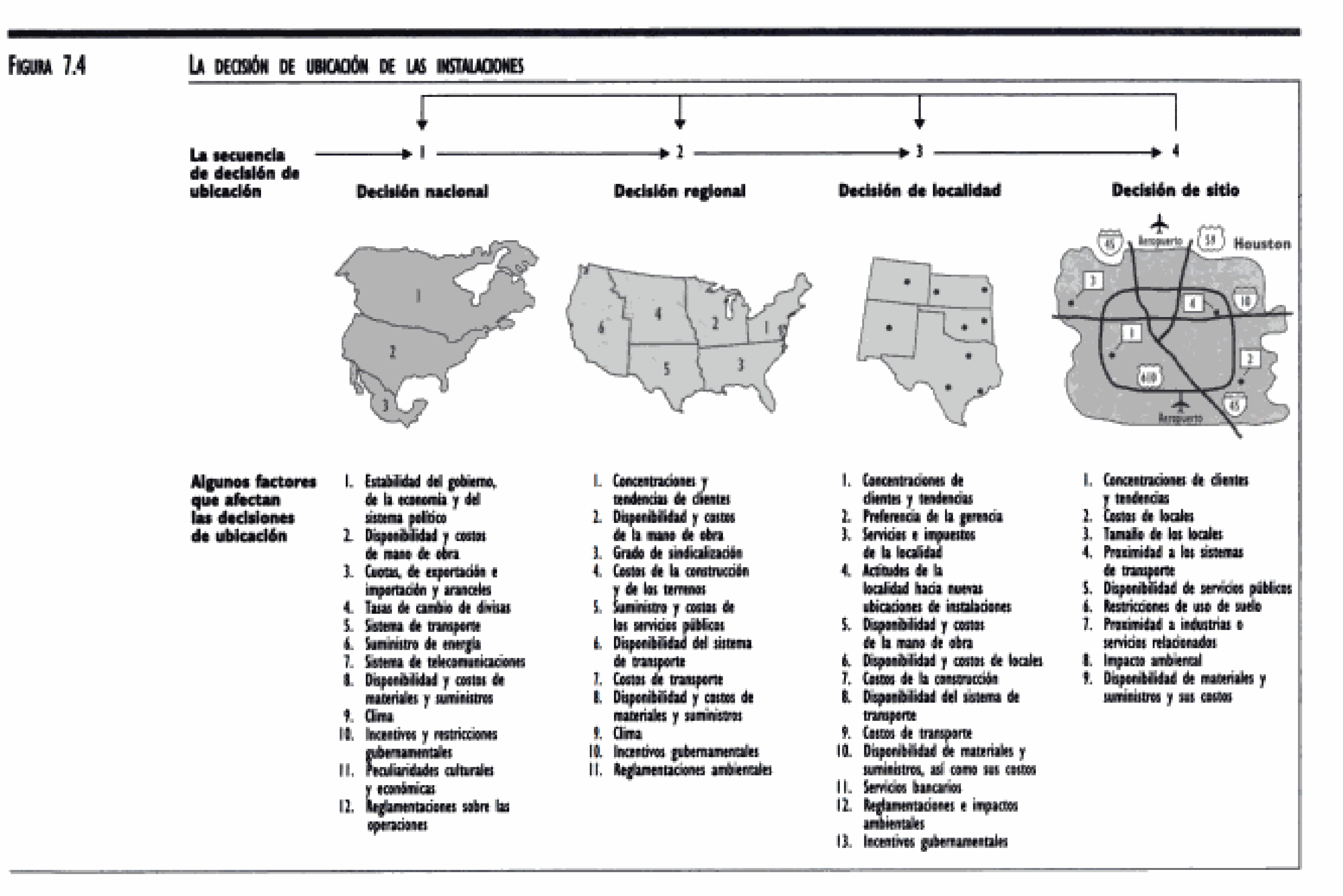
La experiencia reciente de las empresas estadounidenses al ubicar instalaciones en países extranjeros es agridulce. La inestabilidad política, militar, social y económica puede hacer que estas decisiones sean riesgosas. También, hay que tomar en cuenta el efecto sobre estas decisiones de los movimientos en las tasas de cambio ocurridas en los años 80. Empresas estadounidenses como Ford, General Electric y Cincinnati Milacron ubicaron instalaciones de producción fuera de Estados Unidos para aprovechar los bajos costos de mano de obra en el extranjero, pero el embarque de los bienes de las fábricas foráneas de regreso a Estados Unidos representaba convertir el valor de los bienes en una divisa extranjera a dólares. Con la dramática caída del dólar a mitad de los años 80 en relación con las divisas extranjeras, el costo de estos bienes en dólares resultó mayor a lo que hubiera costado si se hubiera manufacturado en Estados Unidos.

Una vez resuelto el problema internacional en comparación con el doméstico, la gerencia debe decidir la región geográfica general dentro del país donde se ubicará la instalación. Esta **decisión de tipo regional** puede involucrar elegir entre varias regiones de un país, como en la figura 7.4, o entre varias regiones dentro de un área geográfica mucho más reducida. La figura 7.5 ilustra la clasificación de las regiones estadounidenses y sus estados como ubicaciones deseables para la manufactura, preparada por una empresa de asesoría en administración y de contabilidad internacional con base en Chicago.

Una vez tomada la decisión sobre la ubicación geográfica, la gerencia debe decidir entre varias localidades dentro de esa región. La figura 7.4 también lista algunos de los factores que afectan la decisión sobre la localidad. La mayoría de los factores que se toman en consideración al hacer la decisión regional también están presentes en la decisión en nivel localidad.

La **decisión en nivel comunidad** incluye varios factores adicionales que afectan la elección de la ubicación. Los servicios de la localidad y sus impuestos, las actitudes y los incentivos hacia nuevas instalaciones y ubicaciones, la disponibilidad y el costo de los sitios, el impacto sobre el entorno, los servicios bancarios y las preferencias gerenciales son importantes al decidir entre una u otra localidad.

FIGURA 7.4 LA DECISIÓN DE UBICACIÓN DE LAS INSTALACIONES



INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 7.4

UBICACIÓN DE LAS INSTALACIONES A NIVEL MUNDIAL EN DEC

Digital Equipment Corporation (DEC) es un gran fabricante de computadoras con base en Estados Unidos. Más de la mitad de sus ingresos proviene de más de 80 países, principalmente europeos. DEC ha operado más de 30 plantas en más de una docena de naciones.

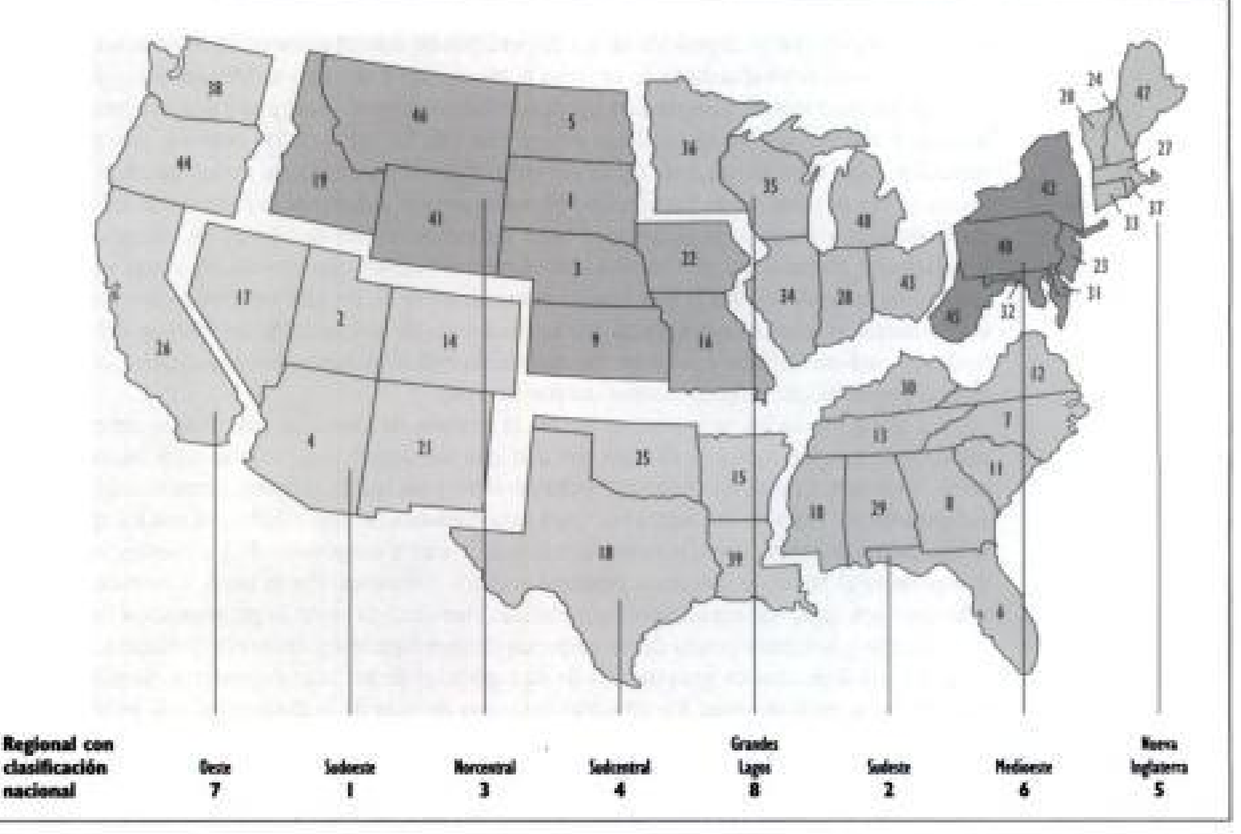
En la decisión de las ubicaciones internacionales de nuevas plantas de manufactura y de centros de distribución, DEC toma en consideración varios factores:

- Localización de los clientes y proveedores
- Localización y disponibilidad de mano de obra capacitada poco costosa
- Longitud de la línea de suministros de materiales en distancia y tiempo
- Tiempo de tránsito y costo de varios modos de transporte
- Costo de materiales en diferentes naciones
- Significancia y localización de los paraísos fiscales (zonas libres de impuesto)
- Comercio compensatorio (valores de bienes y servicios adquiridos en un país para equilibrar la venta de productos en dicho país)
- Objetivos de contenido local (porcentaje de componentes, por valor y para un producto)
- Reglamentos de exportación, tarifas arancelarias, y políticas de devolución de impuestos

Con base en estos factores, DEC utiliza un procedimiento basado en la programación lineal, para desarrollar planes a 18 meses y a cinco años para la ubicación de instalaciones, para planes de capacidad y para estrategias de suministro alrededor del mundo.

Fuente: Arntzen, Bruce C., Gerald G. Brown, Terry P. Harrison y Linda L. Trafton. "Global Supply Chain Management at Digital Equipment Corporation." *Interfaces* 25, no. 1 (enero-febrero de 1995): 69–93.

FIGURA 7.5 CLASIFICACIÓN DE LAS REGIONES Y ENTIDADES DE ESTADOS UNIDOS COMO LOCALIZACIONES DESEABLES PARA LA MANUFACTURA



Finalmente, una vez seleccionada la localidad, debe escogerse un sitio dentro de ella. En la selección de los sitios aparecen varios factores adicionales: tamaño y costo de cada sitio, proximidad a sistemas de transportes y a industrias o servicios relacionados, disponibilidad de servicios públicos y materiales o suministros, y restricciones zonales.

TIPOS DE INSTALACIONES Y SUS FACTORES DE UBICACIÓN DOMINANTES

Usted se habrá preguntado ¿por qué:

- Muchos fabricantes de automóviles están en Detroit?
- Muchas empresas de investigación y desarrollo de computadoras de alta tecnología están en Silicon Valley en el norte de California?
- Varias fabricantes de computadoras personales y de chips están en Austin, Texas?
- Varias casas de pedidos por correo en mercadeo masivo están en Chicago?
- Las pequeñas tiendas de conveniencia parecen estar prácticamente en todas las esquinas de su ciudad?

¿Existen razones para que un tipo de empresa se localice cerca de sus materias primas, en tanto que otra empresa se localiza cerca de sus clientes? Y ¿por qué, empresas obviamente competidoras, se ubican justamente como vecinas? Estas preguntas sugieren que cada tipo de empresa tiene algunos factores dominantes que, finalmente, determinan las decisiones de ubicación de sus instalaciones.

La tabla 7.2 califica la importancia relativa de algunos de los factores que afectan las decisiones de ubicación para diferentes tipos de instalaciones. La minería, las canteras y la fabricación pesada tienen instalaciones **intensivas en bienes de capital**, de construcción costosa, cubren grandes áreas geográficas y utilizan gran cantidad de materias primas pesadas y voluminosas. Además, sus procesos de producción descartan enormes cantidades de desperdicio, los productos terminados pesan mucho menos que los insumos totales en materias primas, se consumen grandes cantidades de servicios públicos y los productos se embarcan sólo a unos cuantos clientes. Estas instalaciones, en consecuencia, tienen tendencia a estar localizadas cerca de la fuente de sus materias primas, en vez de cerca de sus mercados, de forma que los costos totales de transporte, de insumos y de salida se minimicen. Adicionalmente, tienden a seleccionar sitios donde los costos de los bienes raíces y de la construcción sean relativamente bajos y donde se espera que la disposición de los desperdicios no dañe al entorno. También es necesario disponer de un suministro abundante de servicios públicos y estar cercanos a algún servicio ferroviario.

Las instalaciones de manufactura ligera fabrican elementos como pequeños componentes electrónicos y necesariamente se localizan ya sea cerca de la fuente de las materias primas o de los mercados. Más bien, llegan a un equilibrio entre el costo de transporte de los insumos y los productos y, por lo tanto, otros factores de ubicación tienden a dominar la decisión de ubicación. La disponibilidad y costo de la mano de obra es importante en las decisiones de ubicación de estas instalaciones, en tanto que el costo del transporte tiene menor importancia. Si, como se espera, se incrementa la tendencia hacia una mayor automatización de las fábricas, los costos por mano de obra pudieran resultar menos importantes en decisiones de ubicación de las fábricas del futuro. La tendencia pudiera dirigirse a sistemas de producción más dispersos y descentralizados, con muchas plantas pequeñas que utilicen automatización flexible.

La ubicación de los almacenes es quizás la decisión de ubicación más simple entre los diversos tipos de instalaciones. Los factores que dominan son aquellos que afectan a los costos de transporte de entrada y de salida. Aunque resulta deseable y de hecho frecuentemente necesario estar lo suficientemente cerca de los mercados, tanto para comunicarse con efectividad con los que reciben los productos de salida, como para reaccionar con rapidez a los pedidos de los clientes, el costo del transporte es el factor de ubicación principal para los almacenes. Por lo tanto, a menudo estas instalaciones son sujeto de evaluaciones económicas cuantitativas como la programación lineal.

El éxito y la supervivencia de las empresas de investigación y desarrollo y manufactura de alta tecnología dependen en gran medida de su capacidad de reclutar y conservar científicos, ingenieros y otros profesionistas. Lo atractivo del estilo de vida de la comunidad y la proximidad de las universidades son factores predominantes en el reclutamiento de estos empleados. Y, cuando varias empresas con intereses tecnológicos similares se localizan una cerca de la otra, la comunidad de asociaciones científicas y la fuerza de trabajo de la comunidad mejor capacitada beneficia a todos. Por estas razones, vemos comunidades atractivas como éstas:

TABLA 7.2 **IMPORTANCIA RELATIVA DE LOS FACTORES DE UBICACIÓN EN LOS TIPOS DE INSTALACIONES**

Factor que afecta la decisión de instalación	Minería, canteras, manufactura pesada	Manufactura ligera	Manufactura de alta tecnología e investigación y desarrollo	Almacenes	Ventas al menudeo	Servicios lucrativos a clientes	Servicios guberna-mentales locales	Salud y servicios de urgencia
1. Proximidad a concentraciones de clientes o usuarios	C	C	B	B	A	A	A	A
2. Disponibilidad y costos de la mano de obra	B	A	B	B	B	A	B	B
3. Atractivo de la comunidad para el reclutamiento de profesionales	C	B	A	C	C	C	C	C
4. Grado de sindicalización	A	A	C	B	B	B	C	B
5. Costo de la construcción y de bienes raíces	A	B	B	B	B	B	B	B
6. Proximidad a instalaciones de transporte	A	B	C	A	B	C	C	C
7. Costo de transportes de entrada	A	B	C	A	B	C	C	C
8. Costo de transportes de salida	B	B	C	A	C	C	C	C
9. Disponibilidad y costos de servicios públicos	A	B	C	C	C	C	C	C
10. Disponibilidad de materias primas y suministros	A	B	C	C	C	C	C	C
11. Restricciones zonales e impacto ambiental	A	B	C	C	C	B	C	C

Nota: A = muy importante, B = importante, C = menos importante.

- Laser Lane, láseres y electro-ópticas en Orlando, Florida
- Silicon Prairie, desarrollo de software en Champaign-Urbana, Illinois
- Medical Alley, instrumentos médicos, atención a la salud, en Minneapolis/St. Paul, Minnesota
- Biomed Mountains, dispositivos médicos, órganos artificiales, en Salt Lake City, Utah.[4]

Las instalaciones de ventas al menudeo y de servicios lucrativos a clientes se localizan cerca de las concentraciones de clientes objetivo y todos los demás factores de ubicación quedan subordinados a este único factor. Los estudios de estas ubicaciones de instalaciones típicamente involucran la identificación de concentraciones residenciales de clientes objetivo, datos de tránsito en calles adyacentes, las tendencias de crecimiento de comunidades y suburbios, los niveles de gastos discrecionales en concentraciones demográficas vecinas y otra información demográfica. Dado que algunas instalaciones de servicio como tintorerías, clínicas médicas y procesadores fotográficos pueden descartar grandes cantidades de papel de desperdicio, productos químicos y su-

ministros usados, las restricciones zonales y el impacto ambiental pueden desempeñar papeles de mayor importancia que en el caso de decisiones de ubicación de operaciones al menudeo.

También, las instalaciones de servicio gubernamental local generalmente se localizan cerca de concentraciones de sus gobernados. A menudo los servicios del gobierno local se agrupan de forma que los usuarios puedan ahorrar tiempo, esfuerzo y costo de transporte, al tratar varios asuntos en un solo viaje. Adicionalmente, estos servicios se agrupan, para permitir interacción entre las diferentes oficinas. Por ejemplo, las cárceles municipales tienden a localizarse cerca de los edificios de los juzgados, para minimizar el transporte de prisioneros entre cárcel y corte.

Los servicios a la salud y de urgencia tradicionalmente se localizan cerca de concentraciones de personas, debido a que la consideración clave en la selección de las ubicaciones consiste en que este tipo de ubicaciones requiere de tiempos de respuesta muy bajos entre los usuarios y los servicios. En estas ubicaciones, la minimización de pérdidas materiales o de vidas es la consideración de mayor importancia. Típicamente, las estaciones de bomberos se localizan cerca de concentraciones de casas para minimizar el tiempo que le tomará a los bomberos llegar a la escena de los incendios. Los servicios de ambulancia se localizan de manera similar cerca de estos centros comunitarios de población, para minimizar el tiempo en el transporte de pacientes a hospitales y clínicas de la salud. Los hospitales, por lo general, se ubican cerca de los centros de concentración poblacionales.

El tipo de instalación, la naturaleza de sus productos y servicios, y la naturaleza de sus actividades cotidianas afectan la importancia que cada factor de ubicación tiene en las decisiones de localización; cada una de ellas es única, ya que la naturaleza de cada instalación y su operación cotidiana también es única. Comprender los factores que afectan estas decisiones y su importancia relativa en la ubicación de las diversas clases de instalaciones nos da un marco útil para su análisis.

Datos, políticas, incentivos y tácticas prioritarias

La cantidad de datos necesarios para comparar las alternativas de decisión de ubicación de las instalaciones puede resultar inmensa, y numerosas las fuentes de estos datos. Una fuente es el *Business Site/Construction Planner*, publicado por *Dun's Review*. Otras fuentes valiosas de datos sobre ubicación son las cámaras de comercio de las ciudades en consideración. Otra forma segura para que una empresa resulte inundada con datos de ubicación de instalaciones, es enviar un boletín de prensa a los medios noticiosos, anunciando la intención de una nueva instalación que emplee 500 personas, con una nómina anual de 10 millones de dólares.

En cuanto los gobiernos, las cámaras de comercio y las comunidades vislumbran que se está planeando una nueva instalación, se hacen aparentes los aspectos políticos de las decisiones de ubicación de las instalaciones. Parecería que no hay límites para los extremos a los que pueden llegar gobiernos y organizaciones cívicas para convencer que se efectúen nuevas instalaciones en sus comunidades. Por ejemplo, cuando Chrysler-Mitsubishi estaba buscando ubicar la instalación para su planta de ensamble automotriz Diamond-Star, los medios noticiosos emitían informes prácticamente a diario y detallados sobre qué comunidad estaba visitando el equipo de investigación, qué comunidades habían hecho presentaciones a la empresa y qué políticos estatales habían estado en las oficinas corporativas. Una localidad tras otra le extendía la alfombra de bienvenida al equipo visitante y crecía la lista de incentivos ofrecidos a la empresa. La instalación finalmente se localizó en Bloomington, Illinois. Este relato muestra que los incentivos económicos, en forma de reducciones al impuesto sobre la renta, al impuesto predial y sobre otros impuestos; los terrenos, edificios, servicios, carreteras, estacionamientos gratis o con enormes descuentos y otras cosas libres de costo, son poderosos factores en las decisiones de ubicación de instalaciones. Otros ejemplos incluyen la decisión de Packard Bell Computers de trasladarse del área de Los Ángeles a Sacramento, la decisión de McDonnell Douglas de construir un nuevo avión en Dallas en vez de Long Beach, y la decisión de Texas Instruments de construir una fábrica de semiconductores de mil millones de dólares en Dallas y una fábrica de obleas para semiconductor de 500 millones de dólares en Avezzano, Italia.

Una vez que una empresa anuncia su intención de localizar alguna instalación en un sitio, se inician conversaciones en las diversas oficinas centrales de los competidores de la empresa. Este tipo de anuncio es el primer paso de una táctica prioritaria, y por lo general tiene por lo menos dos efectos. Primero, si los competidores habían estado explorando la posibilidad de expandir su capacidad, es posible que les preocupe una sobrecapacidad en la rama industrial y que se asusten. Se-

TABLA 7.3 PASOS EN EL ANÁLISIS DE LAS DECISIONES DE UBICACIÓN DE LAS INSTALACIONES DE SERVICIO

1. **Investigación del comportamiento del consumidor:** ¿Por qué los clientes adquieren nuestros productos y servicios?
2. **Investigación del mercado:** ¿Quiénes son nuestros clientes y cuáles son sus características?
3. **Recopilación de datos sobre cada alternativa de ubicación:** ¿Dónde están las concentraciones de los clientes objetivo? ¿Cuáles son sus patrones de tráfico y gastos? ¿Cuáles son las tendencias de crecimiento y el grado de competencia actual y proyectado?
4. **Proyecciones de ingresos para cada alternativa de ubicación:** ¿Cuáles son las proyecciones económicas de importancia, las proyecciones de los gastos discrecionales, de la actividad de la competencia y de los ingresos a lo largo del tiempo?
5. **Proyecciones de utilidades para cada alternativa de ubicación:** ¿Cuáles son los ingresos proyectados menos los costos de operación a lo largo del tiempo?

gundo, si se anuncia una decisión específica de ubicación, los competidores pueden llegar a la conclusión de que ya no es conveniente ubicarse en esa región. Esta táctica prioritaria está dirigida entonces a desalentar a la competencia.

Las decisiones de ubicación son muy complicadas. Están relacionadas tantas variables en formas tan complejas y hay tanta incertidumbre, que resulta difícil jugar mentalmente con toda la información de forma simultánea. Dada esta complejidad, las técnicas de análisis tienden a procesar sólo una parte de la información de importancia, a veces en formas bastante sencillas, por lo que, en la toma de la decisión, al responsable le queda la tarea de integrar de manera inteligente los resultados del análisis con el resto de la información. Las técnicas de análisis que se presentan en las secciones siguientes deben juzgarse desde esta perspectiva: proporcionan una forma ordenada de analizar parte de la información relevante presente en una decisión de ubicación. Queda a la gerencia utilizar los resultados del análisis junto con otra información para tomar la decisión final de ubicación.

ANÁLISIS DE UBICACIONES DE MENUDEO Y DE OTROS SERVICIOS

La tabla 7.2 mostró que el factor dominante en las decisiones de ubicación para algunas instalaciones es su proximidad a concentraciones de clientes. Instalaciones como el menudeo, los servicios de tipo lucrativo a clientes y los servicios de salud y urgencia son tipos de instalaciones que intentan localizarse cerca de sus clientes/usuarios.

Las organizaciones al menudeo y otros servicios típicamente hacen estudios empíricos de ubicación de instalaciones alternativas. La tabla 7.3 muestra los pasos básicos de estos estudios. Primero, la administración de una organización debe comprender por qué los clientes adquieren sus productos y servicios; luego, debe investigarse el mercado para determinar las características del cliente objetivo. Una vez identificadas grandes concentraciones de clientes objetivo, podrán considerarse ubicaciones alternas cercanas a estas concentraciones. En este punto del estudio, puede que se recolecten cantidades enormes de datos. Para cada una de las ubicaciones se estimarán las proyecciones de los patrones de tránsito, datos de gastos locales y de ingresos, competencia y tendencias de crecimiento. Se proyectarán ingresos y costos de operación para cada ubicación. Las utilidades proyectadas con base en datos empíricos se convierten en la base de comparación de las alternativas de ubicación consideradas.

Los primeros estudios de ubicaciones de menudeo se basaban en el **modelo de gravedad**. Este modelo se estructuraba de acuerdo con dos principios: 1) La atracción que ejerce una ubicación, sobre sus clientes es directamente proporcional al tamaño de la población de la región alrededor de ella; y 2) la atracción de una ubicación sobre los clientes es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que deben recorrer para llegar a ella. Estudios de menudeo más recientes se han fundamentado en variantes más modernas de estos principios del modelo de gravedad. Vea, por ejemplo, el modelo de menudeo de Huff para evaluar la utilidad de los centros comerciales:[5]

$$E_{ij} = P_{ij}C_i$$

donde

E_{ij} = cantidad de clientes esperada en i que probablemente viajen al centro comercial j

C_i = cantidad de clientes en i

INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 7.5

SOFTWARE DE LOCALIZACIÓN DE SITIOS DE MCDONALD'S

Probablemente McDonald's es líder en el mundo en cantidad de instalaciones al menudeo localizadas y construidas todos los años. Para ayudarse sobre dónde ubicar estas instalaciones, utilizan software de computadora muy completos, pero amigable con el usuario. No está disponible para computadoras personales, porque ocupa demasiados datos y ejecutar los programas tomaría demasiado tiempo. Para ello se requieren estaciones de trabajo de ingeniería más poderosas.

Este software de tecnología de punta integra información demográfica, censal y otra adicional que McDonald's ha reunido sobre sitios en todo Estados Unidos. Los usuarios también proporcionan un mapa basado en datos censales. Los usuarios pueden mover un ratón sobre el mapa y en la pantalla de la computadora aparecerán los datos que corresponden a la posición del ratón. Por ejemplo, si el ratón está localizado en una intersección de calles muy transitada, en pantalla aparecería el número de casas, ingresos discrecionales, tamaño de población objetivo, y otros datos de mercadotecnia de la zona circundante. El software incluye una enorme base de datos, que McDonald's ha elaborado partiendo de estudios de ubicación anteriores y de encuestas de clientes sobre los habitantes transitorios y regulares que viven o trabajan en cada sitio candidato.

El programa lo está vendiendo Dakota Marketing con el nombre de Quintillion. Se dice que está dirigido a bancos, comercializadores masivos, tiendas al menudeo, supermercados, tiendas departamentales y otras redes de tiendas en cadena.

Fuente: "McDonald's Markets Site-Location Software." *Houston Chronicle*, 8 de diciembre de 1991, 7F.

P_{ij} = probabilidad que viaje un cliente en el punto de origen i al centro comercial j. P_{ij} es función del tamaño del centro comercial j, del tiempo transcurrido para un cliente en el punto de origen i en llegar al centro comercial j, y el efecto del tiempo de recorrido sobre varios tipos de viajes.

Estos y otros modelos de menudeo similares están dirigidos a estimar la demanda de los clientes para ubicaciones de menudeo por lo que podrán estimarse los ingresos en las localizaciones de menudeo alternativas. La Instantánea Industrial 7.5 describe un software de computadora de mucho éxito para localizar instalaciones de menudeo.

ANÁLISIS DE UBICACIONES PARA INSTALACIONES INDUSTRIALES

La tabla 7.4 clasifica los problemas de ubicación en cuatro clases básicas, desde la más simple hasta la más compleja. En la primera clase, una instalación única se supone recibirá materiales de varias fuentes ya existentes y embarcará bienes terminados a varios destinos ya existentes. Esta clase de problema se analiza comúnmente utilizando un **análisis convencional de costos**. La tabla 7.5 es un análisis de costo para tres ubicaciones alternativas para un tren de laminación de acero. La ventaja de este tipo de análisis de costos es lo fácil que es de comunicar y comprender; una desventaja es que se están comparando costos a 1, 5 y 10 años en el futuro sin tomar en consideración el valor en el tiempo del dinero. También debería reconocerse que en este análisis no se toman en consideración factores de importancia de tipo cualitativo.

Cuando una o más instalaciones se van a ubicar junto con instalaciones similares existentes, como en las clases 2 y 3 de la tabla 7.4, los análisis se hacen más complejos. Por lo general, en estos problemas se utiliza alguna forma de programación lineal para investigar simultáneamente todas las combinaciones posibles de embarque de materiales. El ejemplo 7.2 demuestra que se puede utilizar la programación lineal para seleccionar una nueva ubicación para un almacén para que trabaje en equipo con dos existentes a fin de alimentar cuatro centros de clientes. Se trata de un problema de programación lineal del tipo de **transporte** y el objetivo es minimizar el costo total anual de transporte y manejo para la operación de los tres almacenes. Aunque este procedimiento identifica la ubicación del almacén de mínimo costo, no se toman en consideración otros factores importantes de tipo cualitativo.

TABLA 7.4 **ALGUNOS TIPOS COMUNES DE PROBLEMAS DE UBICACIÓN**

Clase de problema de ubicación	Objetivo de análisis
1. Localizar la *instalación de una planta* que esté servida por una o más fuentes y que a su vez suministrará a uno o más destinos.	Minimizar los costos totales anuales (costo de transporte de entrada y de salida así como costos de operación), o maximizar las utilidades anuales al considerar todos estos costos.
2. Localizar *una o más instalaciones fuente* que se combinarán con otras instalaciones fuente para suministrar varios destinos existentes.	Minimizar costos totales anuales (costos de transporte de salida y costos de operación) o maximizar utilidades al considerar todos estos costos.
3. Ubicar *una o más instalaciones de destino* que se combinarán con instalaciones de destino existentes que van a ser atendidas por una o más fuentes existentes.	Minimizar los costos totales anuales (costos de transporte de entrada y costos de operación) o bien maximizar las utilidades al considerar todos estos costos.
4. Localizar *una o más plantas* que se combinen con plantas existentes para ser atendidas por una o más fuentes existentes y que a su vez suministrarán a uno o más destinos existentes.	Minimizar los costos totales anuales (costos de transporte de entrada y de salida y costos de operación) o maximizar las utilidades anuales al considerar todos estos costos.

Los problemas de ubicación que se ven en el ejemplo 7.2 también se analizaron utilizando la simulación por computadora. Por ejemplo, Markland utilizó simulación para estudiar todos los flujos entre plantas, almacenes en el campo, mayoristas y detallistas, de los productos de Ralston Purina Company.[6] La simulación por computadora se analizará más en el capítulo 13 de este libro.

La clase 4 de la tabla 7.4 a menudo se conoce como el **problema de transbordo**, y su complejidad tiene un orden de magnitud mayor que los demás tipos de decisiones de ubicación hasta ahora considerados. Existen varios procedimientos de solución para estos complejos problemas de ubicación. Wagner y Geoffrion y Graves han desarrollado técnicas avanzadas de solución para estos problemas.[7,8]

TABLA 7.5 **COMPARACIONES DE COSTO: TRES UBICACIONES ALTERNATIVAS DE MANUFACTURA PARA UN TREN DE LAMINACIÓN DE ACEROS**

	St. Louis, Missouri			Cleveland, Ohio			Milwaukee, Wisconsin		
Elemento de costo	**Año 1**	**Año 5**	**Año 10**	**Año 1**	**Año 5**	**Año 10**	**Año 1**	**Año 5**	**Año 10**
Transporte de entrada	$18.5	$22.9	$28.4	$17.4	$21.5	$26.8	$16.4	$19.9	$24.6
Transporte de salida	6.1	7.6	10.2	6.0	7.6	10.0	6.1	7.6	10.1
Mano de obra	14.7	19.4	26.2	18.6	22.7	30.5	21.5	25.4	33.9
Materias primas	30.3	39.4	57.1	29.5	39.1	56.3	28.9	38.6	55.2
Suministros	4.2	4.5	5.9	4.4	4.9	5.9	4.6	4.9	6.2
Servicios generales	6.0	9.2	18.5	8.4	12.6	29.2	10.1	16.3	32.1
Gastos generales variables	5.9	6.8	7.5	6.1	7.2	8.2	6.0	7.6	8.6
Gastos generales fijos	9.6	10.5	14.2	10.2	11.6	14.9	10.4	12.3	15.3
Costo total de operación	95.3	120.3	168.0	100.6	127.2	181.8	104.0	132.6	186.0
Volumen proyectado	1.201	1.489	2.001	1.201	1.489	2.001	1.201	1.489	2.001
Costo unitario de producción (dls/ton)	79.4	80.8	84.0	83.8	85.4	90.4	86.6	89.1	93.0

Nota: Los costos aparecen en millones de dólares y el volumen en millones de toneladas.

EJEMPLO 7.2

USO DE LA PROGRAMACIÓN LINEAL PARA ANALIZAR LAS ALTERNATIVAS DE UBICACIÓN DE LAS INSTALACIONES INDUSTRIALES

Eco-Steel, mayorista en aceros en barras especializado en aceros de importación, debe contar pronto con otro almacén en su sistema del área de la ciudad de Nueva York, para enfrentar la creciente demanda de sus clientes. Eco tiene ahora dos almacenes abasteciendo a cuatro concentraciones de talleres mecánicos de la región. Se han propuesto dos alternativas de ubicación, L_3 y L_4, cada una con capacidades mensuales de 12,000 libras. A continuación aparecen la capacidad mensual de los almacenes 1 y 2 existentes, la demanda mínima de cada uno de sus conglomerados de clientes, A, B, C y D, y los costos de transporte y manejo por libra al abastecer la demanda:

	Conglomerados de clientes				Capacidad mensual del almacén
Almacén	**A**	**B**	**C**	**D**	**(libras)**
Almacén 1	$0.10	$0.10	$0.15	$0.20	12,000
Almacén 2	0.10	0.10	0.10	0.20	12,000
Ubicación propuesta L_3	0.15	0.15	0.10	0.10	12,000
Ubicación propuesta L_4	0.20	0.10	0.15	0.15	12,000
Demanda mensual de los clientes (libras)	10,000	8,000	12,000	6,000	

a. Si sólo se construye un almacén nuevo, ¿cuál de las ubicaciones (L_3 o L_4) dará como resultado costos mensuales de transporte y manejo más bajos?

b. ¿Qué costos mensuales de transporte y manejo se tendrán entre cada uno de los almacenes y cada uno de los conglomerados de clientes si se sigue la recomendación del inciso a?

c. ¿Cuánto acero deberá embarcarse mensualmente del nuevo almacén a cada conglomerado de clientes?

SOLUCIÓN

a. Primero, suponga que el almacén propuesto L_3 se combinará con los almacenes existentes 1 y 2, y formule el problema de programación lineal:

1. Defina las variables de decisión:

   X_1 = libras de acero a embarcar mensualmente del almacén 1 al conglomerado de clientes A

   X_2 = libras de acero a embarcar mensualmente del almacén 1 al conglomerado de clientes B

   X_3 = libras de acero a embarcar mensualmente del almacén 1 al conglomerado de clientes C

   ⋮

   X_{12} = libras de acero a embarcar por mes del almacén L_3 al conglomerado de clientes D

2. Formule la función objetivo:

$$\text{Mín } Z = 0.10X_1 + 0.10X_2 + 0.15X_3 + 0.20X_4 + 0.10X_5 + 0.10X_6 + 0.10X_7 + 0.20X_8 + 0.15X_9 + 0.15X_{10} + 0.10X_{11} + 0.10X_{12}$$

3. Formule las restricciones:

$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 \leq 12{,}000$—Capacidad del almacén 1
$X_5 + X_6 + X_7 + X_8 \leq 12{,}000$—Capacidad del almacén 2
$X_9 + X_{10} + X_{11} + X_{12} \leq 12{,}000$—Capacidad del almacén L_3
$X_1 + X_5 + X_9 \geq 10{,}000$—Requerimientos del conglomerado de clientes A
$X_2 + X_6 + X_{10} \geq 8{,}000$—Requerimientos del conglomerado de clientes B
$X_3 + X_7 + X_{11} \geq 12{,}000$—Requerimientos del conglomerado de clientes C
$X_4 + X_8 + X_{12} \geq 6{,}000$—Requerimientos del conglomerado de clientes D

4. Este problema de programación lineal se resuelve por computadora, con los resultados siguientes:

$X_1 = 10{,}000$	$X_4 = 0$	$X_7 = 6{,}000$	$X_{10} = 0$	$Z = 3{,}600$ dls
$X_2 = 2{,}000$	$X_5 = 0$	$X_8 = 0$	$X_{11} = 6{,}000$	
$X_3 = 0$	$X_6 = 6{,}000$	$X_9 = 0$	$X_{12} = 6{,}000$	

Ahora suponga que el almacén propuesto L_4 se combinará con los almacenes existentes 1 y 2 y formule el problema de programación lineal.

5. La función objetivo es:

$$\text{Mín } Z = 0.10X_1 + 0.10X_2 + 0.15X_3 + 0.20X_4 + 0.10X_5 + 0.10X_6 + 0.10X_7 + 0.20X_8 + 0.20X_9 + 0.10X_{10} + 0.15X_{11} + 0.15X_{12}$$

6. No hay cambios en las restricciones respecto a las del No. 3 arriba.
7. La solución a este nuevo problema de programación lineal es:

$X_1 = 10{,}000$	$X_4 = 0$	$X_7 = 12{,}000$	$X_{10} = 6{,}000$	$Z = 3{,}900$ dls
$X_2 = 2{,}000$	$X_5 = 0$	$X_8 = 0$	$X_{11} = 0$	
$X_3 = 0$	$X_6 = 0$	$X_9 = 0$	$X_{12} = 6{,}000$	

Dado que los costos mensuales totales de L_3 son menores a los de L_4, se prefiere la localización de almacén L_3.

b. Los costos mensuales totales de transporte y manejo para los tres almacenes serán de 3,600 dólares.
c. Eco deberá embarcar estas cantidades de acero por mes del almacén L_3 a:

A = 0 B = 0 C = 6,000 libras D = 6,000 libras

Integración de factores cuantitativos y cualitativos en las decisiones de ubicación

Hasta ahora las técnicas para analizar y comparar ubicaciones alternativas se han basado en la localización de concentraciones de clientes, como en el caso de la mayoría de las organizaciones de servicio o de minimizar el tiempo, distancia o costos de recorridos, como en el caso de plantas y almacenes de manufactura. Estos análisis cuantitativos dan información cuantitativa muy valiosa sobre decisiones de ubicación, pero muchas de estas decisiones también pueden involucrar factores que no son fácilmente cuantificables.

Los gerentes que toman decisiones de ubicación saben que en algunos casos los factores cualitativos pueden dominar a los cuantitativos. Algunos de estos factores cualitativos son el de vivienda, costo de la vida, disponibilidad de mano de obra, clima, actividades comunitarias, servicios educativos y de la salud, de recreación, iglesias, actividades sindicales, sistemas locales de transporte, proximidad de instalaciones industriales similares y actitudes comunitarias. Todos estos factores se conjuntan con los factores cuantitativos, por ejemplo el costo anual de operación, para determinar la aceptabilidad de una ubicación en particular.

En ocasiones, los gerentes tienen que luchar intercambiando factores cualitativos contra cuantitativos. Se han creado métodos para el despliegue sistemático de ventajas y desventajas relativas,

TABLA 7.6 **PROCEDIMIENTO DE ESCALA DE CALIFICACIÓN PARA COMPARAR UBICACIONES ALTERNATIVAS EN FUNCIÓN DE FACTORES CUALITATIVOS DE UN TREN DE LAMINACIÓN DE ACEROS**

Factores de ubicación	**St. Louis, Missouri**	**Cleveland, Ohio**	**Milwaukee, Wisconsin**
Factores económicos			
Costos anuales de operación (dólares)	95,300,000	100,600,000	104,000,000
Costos unitarios de producción (dólares)	79.40/ton	83.80/ton	86.60/ton
Factores cualitativos			
Disponibilidad de vivienda	3	3	4
Costo de la vida	3	3	2
Disponibilidad de mano de obra	3	3	5
Actividades comunitarias	3	2	4
Servicios educativos y de salud	3	3	4
Recreación	4	2	5
Actividades sindicales	3	1	3
Sistemas locales de transporte	3	5	3
Proximidad a industrias similares	3	4	4
Actividades comunitarias	5	5	5

Nota: Se utiliza una escala de calificación de cinco puntos: 5 = excelente, 4 = bueno, 3 = promedio, 2 = por debajo del promedio, 1 = pobre.

tanto cuantitativas como cualitativas, de cada alternativa de ubicación. En el capítulo 5 se analizaron dos procedimientos: el de escalas de calificación y el de calificaciones relativas agregadas.

La tabla 7.6 ilustra el procedimiento de escalas de calificación. Los gerentes deben procesar estas comparaciones a través de sus cálculos mentales únicos y llegar a una calificación relativa para cada una de las alternativas de ubicación. La tabla 7.7 ilustra el procedimiento de calificaciones relativas agregadas. Procedimientos de este tipo pueden resultar útiles al comparar alternativas de ubicación, particularmente cuando en la decisión de localización los factores cualitativos son importantes.

Los conceptos, factores de ubicación y técnicas de análisis para llegar a decisiones de ubicación de las instalaciones presentados en este capítulo, no son exhaustivos, lo que se ha presentado aquí únicamente de introducción a una temática mayor.

TABLA 7.7 **PROCEDIMIENTO DE CALIFICACIONES RELATIVAS AGREGADAS PARA COMPARAR UBICACIONES ALTERNATIVAS PARA UN TREN DE LAMINACIÓN DE ACEROS**

	Coeficiente	**St. Louis, Missouri**			**Cleveland, Ohio**			**Milwaukee, Wisconsin**		
Factor de ubicación relevante	**del factor**	**Datos económicos**	**Marcador**	**Marcador ponderado**	**Datos económicos**	**Marcador**	**Marcador ponderado**	**Datos económicos**	**Marcador**	**Marcador ponderado**
Costo de producción/ton	0.60	79.40 dls	1.000*	0.600	83.80 dls	0.948*	0.569	86.80 dls	0.917*	0.550
Costo de la vida	0.05		0.600†	0.030		0.650	0.033		0.500	0.025
Disponibilidad de mano de obra	0.20		0.650	0.130		0.600	0.120		0.950	0.190
Actividades sindicales	0.10		0.700	0.070		0.700	0.070		0.650	0.065
Proximidad a industria similar	0.03		0.600	0.018		0.650	0.020		0.850	0.026
Transportación local	0.02		0.600	0.012		0.700	0.014		0.700	0.014
Calificación total de la ubicación				0.860			0.826			0.870

*Estas calificaciones se determinan al dividir el costo más bajo por tonelada entre el costo real por tonelada:

$$\frac{79.40}{79.40} = 1.000 \qquad \frac{79.40}{83.80} = 0.947 \qquad \frac{79.40}{86.60} = 0.917$$

†Las calificaciones de los factores cualitativos se estiman con base en una calificación máxima de 1.000.

RECOPILACIÓN:

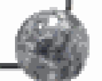
LO QUE HACEN LOS PRODUCTORES DE CLASE MUNDIAL

Los productores de clase mundial reconocen que las decisiones de capacidad y ubicación de las instalaciones a largo plazo son las de mayor importancia entre sus decisiones estratégicas. La inversión en bienes de capital en instalaciones de producción es enorme y la capacidad de producción a utilizarse como arma competitiva en la captura de los mercados mundiales depende de ello. La planeación de la capacidad cubre periodos tan largos que pueden ocurrir cambios fundamentales en la economía, en las preferencias de los clientes, en la tecnología, en la demografía y en la reglamentación gubernamental. Este tipo de planeación está por lo tanto sujeto a gran incertidumbre y riesgo.

Sin embargo, los productores de clase mundial se distinguen por contar con una planeación empresarial a largo plazo fuera de lo común y también por su excelencia en la conducción de estudios de capacidad a largo plazo. No sólo toman en consideración pronósticos a largo plazo de la demanda de sus productos y servicios, sino que también toman en consideración factores tales como los cambios esperados en los ciclos de vida de los productos y en los ciclos de vida de los procesos, de la disponibilidad del capital y otros recursos, de la tecnología de la producción y del producto, y de excedentes de capacidad en esa rama industrial. Particularmente importante es prever capacidad adicional en forma de colchones de capacidad para hacer frente a una demanda no esperada, a picos de demanda estacionales, evitar deseconomías de escala y una mezcla apropiada de prioridades competitivas en las instalaciones para la producción.

Los productores de clase mundial justifican las enormes inversiones en instalaciones de producción, más que en todo lo que pueden ahorrar y otras fórmulas financieras convencionales de rendimiento, en la manera en la que dichas instalaciones posicionan a sus empresas para poder capitalizar oportunidades estratégicas para la captura de porciones crecientes de los mercados mundiales. La reducción en la integración vertical a través del desarrollo de una red efectiva de subcontratistas puede mejorar el desempeño general de la empresa. Mejor tecnología de producción, menor inversión en capital, mayor flexibilidad y mayor capacidad, y niveles más estables de empleo son ventajas a menudo citadas que tiene el contar con una mayor confianza en los proveedores. Los productores de clase mundial están decidiendo enfocar sus instalaciones de producción, haciéndolas por lo tanto menos vulnerables a competidores más pequeños y más especializados. Esto significa que las instalaciones de producción en general tienden a ser mejores, estar más ampliamente dispersas y localizadas más cerca de los clientes. La introducción de la automatización flexible en la producción ha permitido efectuar economías de alcance al dispersar el costo de dicha automatización entre muchos productos diferentes.

Cada vez más, las decisiones de ubicación de las instalaciones en los productores de clase mundial involucra una búsqueda mundial de lugares. Las fronteras nacionales son un menor obstáculo que en el pasado. En las decisiones de ubicación se toman en consideración una multitud de factores cuya importancia varía según el tipo de instalación. El tipo de instalación —desde manufactura pesada a servicios a la salud— tiene su propio conjunto de factores que deben hacerse coincidir con cuidado con los proporcionados por la ubicación de instalaciones potenciales. Para cada ubicación propuesta se reúnen y analizan grandes cantidades de datos. En estos análisis se puede utilizar la programación lineal, el análisis de costos y otras técnicas. Para la elección final de la ubicación son importantes los incentivos que pudieran ofrecer los gobiernos de las comunidades consideradas. También, debe ponerse atención en la competencia, para tomar en consideración la oportunidad de anuncios de la elección de la ubicación para efectos prioritarios. La elección final de la ubicación de las instalaciones involucrará la necesidad de considerar de manera simultánea muchos factores económicos y cualitativos.



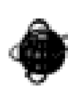
PREGUNTAS DE REPASO Y ANÁLISIS

1. Nombre cuatro actividades generalmente involucradas en cualquier decisión de planeación de la capacidad a largo plazo.
2. Defina *capacidad de producción*. ¿De qué manera define el Federal Reserve Board la *capacidad práctica sustentable*?
3. ¿De qué manera es probable que la medición de capacidad en los servicios difiera de la medición de capacidad en la manufactura?
4. Defina estos términos: *capacidad de velocidad de salida, unidad de capacidad agregada, capacidad de velocidad de entrada, porcentaje de utilización de la capacidad, colchón de capacidad.*
5. Nombre tres maneras en que las empresas pueden reducir su capacidad a largo plazo. Nombre cinco maneras mediante las que las empresas pueden expandir su capacidad a largo plazo.
6. Defina estos términos: *nivel óptimo de operación, economías de escala, deseconomías de escala, economías de alcance, redes de proveedores.*

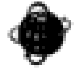
7. Nombre cinco técnicas utilizadas para analizar las decisiones de capacidad a largo plazo.
8. Nombre cuatro pasos secuenciales en las decisiones de ubicación.
9. ¿Qué factores afectan las decisiones de ubicación a nivel país?
10. ¿Qué factores afectan las decisiones de ubicación a nivel localidad?
11. ¿Qué factores afectan las decisiones de ubicación a nivel sitio?
12. Liste los factores dominantes que afectan la ubicación de este tipo de instalaciones:
    a. Minería, canteras, instalaciones de manufactura pesada
    b. Instalaciones de manufactura ligera
    c. Investigación y desarrollo y manufactura de alta tecnología
    d. Almacenes
    e. Instalaciones de menudeo y servicio
    f. Servicios del gobierno local e instalaciones de servicios de salud y urgencias
13. Nombre cinco pasos en el análisis de las ubicaciones de instalaciones de ventas al menudeo y de servicio.
14. Describa cuatro clases de problemas de ubicación.
15. ¿En qué clase de problemas de ubicación se puede utilizar de manera apropiada las comparaciones de costos y el análisis convencional de punto de equilibrio?
16. Nombre cinco factores cualitativos que comúnmente se toman en consideración en decisiones de ubicación de instalaciones.
17. Describa la forma en que los gerentes pueden considerar simultáneamente tanto los factores cualitativos como cuantitativos en el análisis de ubicación de instalaciones.
18. Describa la forma en que los productores de clase mundial encaran las decisiones de capacidad a largo plazo y la ubicación de las instalaciones.

TAREAS EN INTERNET





1. El Office of System Capacity es un departamento dentro de la Federal Aviation Administration. Visite y explore el sitio Web del Office of System Capacity (**asc-www.hq.faa.gov/**). ¿Cuál es el propósito o papel de este departamento (es decir, qué hace este departamento)?
2. Un factor en la decisión de alguna ubicación para una instalación de alta tecnología que empleará muchas personas muy preparadas es el costo de la vida en un área. El ACCRA Cost of Living Index se computa en Estados Unidos para áreas metropolitanas en poblaciones mayores de 1.5 millones de habitantes. Encuentre el ACCRA Cost of Living Index en Internet. ¿Cuáles son las cinco áreas metropolitanas más costosas y cuáles son las cinco menos costosas? Anote la dirección del sitio Web donde encontró esta información.
3. El Federal Reserve Board emite informes frecuentes sobre "Industrial Production and Capacity Utilization" en Estados Unidos. Encuentre un informe reciente en Internet y anote el sitio Web del informe. ¿Cuál es el porcentaje de utilización de la capacidad industrial más reciente dada y a qué periodo corresponde?



4. La Economic Development Commission de Mid-Florida proporciona información de ubicación de las instalaciones para el área de Orlando en Internet (**www.business-orlando.org**). Encuentre información sobre los costos de construcción en comparación con los costos de arrendamiento por pie cuadrado para distintos tipos de instalaciones. Encuentre los porcentajes recientes de tasas de ocupación para diferentes tipos de instalaciones. Resuma esta información.

PROBLEMAS

Decisiones de planeación de instalaciones a largo plazo

1. La Hardhead Lids Company planea producir cascos para motociclistas. El costo anual fijo del proceso de producción se espera sea de 185,000 dólares. El costo variable por casco se espera sea de 76 dólares. La compañía espera vender los cascos a 99 dólares cada uno.
   a. ¿Cuántos cascos debe vender todos los años para alcanzar el punto de equilibrio?
   b. ¿Cuántos ingresos anuales se requiere para alcanzar al punto de equilibrio?
   c. Si se venden 15,000 cascos en un año, ¿cuánta utilidad se obtendrá?
   d. Si se esperan ventas anuales de 15,000 cascos, cuál necesitará ser el precio de venta a fin de ganar una utilidad de 300,000 dólares?

2. Un fabricante necesita agregar más capacidad de producción. Ahora se están estudiando dos alternativas: automatizada y manual. La información que sigue es importante para esta decisión:

	Proceso automatizado	Proceso manual
Costo fijo anual (dólares)	545,000	123,000
Costo variable por producto (dólares)	15.66	17.69
Producción anual estimada		
(en cantidad de productos): Año 1	120,000	120,000
Año 5	150,000	150,000
Año 10	220,000	220,000

a. ¿Qué alternativa sería la de menos costo para los años 1, 5 y 10?
b. ¿Cuál tendría que ser el costo variable por unidad en el año 5 para la alternativa automática para justificar el costo fijo anual adicional de la alternativa automática en comparación con la manual?

3. Una tienda de suministros para construcción está planeando expandir su capacidad para satisfacer una demanda creciente de sus productos. Las alternativas son construir una nueva tienda en un lugar cercano, expandir y reconstruir la tienda antigua o no hacer nada. El panorama económico regional es como sigue: existe una probabilidad de 60% que la economía se mantendrá sin cambios, una probabilidad de 20% de un crecimiento en la economía, y una [redacted]

Tamaño del mercado	Probabilidad	Retribuciones (dólares)
Grande	0.5	2,500,000
Marginal	0.5	2,200,000

Si la empresa desarrolla el nuevo producto y a continuación lo produce y comercializa, es aplicable la información siguiente:

Tamaño del mercado	Probabilidad	Retribuciones (dólares)
Grande	0.5	3,000,000
Marginal	0.5	1,800,000

a. Utilice un análisis de árbol de decisiones y recomiende un curso de acción para esta idea de producto nuevo.
b. Si la empresa sigue su recomendación ¿qué rendimientos debe esperar recibir?

5. La BuiltRite Manufacturing Company desarrolló un nuevo producto y debe ahora decidir entre dos planes de instalaciones. La primera alternativa es construir de inmediato una instalación grande y nueva. La segunda alternativa es construir inicialmente una planta pequeña y dentro de tres años considerar la expansión de la misma a una más grande, sólo si se ha comprobado que durante estos primeros tres años el mercado ha sido favorable. El departamento de comercialización ha proporcionado las siguientes estimaciones de probabilidades para un plan a 10 años.

(A) Demanda los tres primeros años	Probabilidad de A P(A)	(B) Demanda los siguientes siete años	Probabilidad de B, dado A P(B|A)
Desfavorable	0.2	Desfavorable	1.0
Desfavorable	0.2	Favorable	0
Favorable	0.8	Favorable	0.5
Favorable	0.8	Desfavorable	0.5

El departamento de contabilidad ha proporcionado las siguientes retribuciones para cada uno de los resultados:

Demanda	Plan de instalación	Retribuciones (millones)
Favorable-favorable	Fábrica grande	$10.0
Favorable-desfavorable	Fábrica grande	5.0
Desfavorable-desfavorable	Fábrica grande	3.0
Favorable-favorable	Fábrica pequeña-expandida	7.0
Favorable-desfavorable	Fábrica pequeña-expandida	2.0
Favorable-favorable	Fábrica pequeña-no expandida	1.0
Favorable-desfavorable	Fábrica pequeña-no expandida	2.0
Desfavorable-desfavorable	Fábrica pequeña-no expandida	1.0

Utilizando estas estimaciones, analice la decisión de instalaciones de BuiltRite y:
a. Lleve a cabo un análisis completo de árbol de decisiones.
b. Recomiende una estrategia para BuiltRite.
c. Determine qué retribuciones serán el resultado de su recomendación.

6. Una empresa de manufactura de productos estampados de acero. De forma cada vez más importante, los productores en el extranjero están socavando los precios de la empresa de estos estampados y ésta está estudiando la tecnología de su capacidad de producción para determinar si debe actualizarse para hacerse más competitiva ante las empresas del extranjero.

Si los procesos de producción se automatizan, el valor presente neto de los rendimientos (valor presente neto quiere decir que los rendimientos se expresan en términos de los dólares de hoy) para la empresa dependen del mercado de los productos de la planta:

Proceso	Nivel del mercado	Probabilidad	Rendimiento (dólares)
Automatizado	Elevado	0.1	4,000,000
	Medio	0.5	2,600,000
	Bajo	0.4	1,500,000

Si la empresa decide no hacer nada por ahora y volver a estudiar la situación dentro de cinco años, probablemente entonces estarán presentes dos alternativas: continuar la operación con los procesos existentes de producción o parar la planta y liquidar sus activos. Si después de los cinco años la planta sigue siendo operada en su presente estado, el valor presente neto de los rendimientos dependerá del mercado de los productos de la planta en dicho momento:

Alternativa	Nivel del mercado	Probabilidad	Rendimiento (dólares)
No hacer nada ahora, continuar la operación en la condición existente	Elevado	0.3	3,000,000
	Medio	0.4	2,500,000
	Bajo	0.3	2,000,000

Si después de cinco años la compañía para la planta y liquida sus activos, el valor presente neto de los rendimientos se estima serán de 2,000,000 dólares.

a. Utilice un análisis de árbol de decisiones y recomiende un curso de acción para la empresa.

b. ¿Qué rendimientos debe esperar la empresa en caso de seguir su recomendación?

7. El Red Wing Trucking Company tiene una flotilla de autotransportes carreteros que operan en el sur de California. La flotilla se adquirió hace 10 años y se está haciendo obsoleta y está en mal estado. Red Wing estima que una nueva flotilla costaría 1,250,000 dólares y se ahorrarían 300,000 dólares al año en gastos de operación y mantenimiento. Si se ignoran los impuestos, la flotilla actual tiene un valor de salvamento igual a cero y la nueva tiene un valor de salvamento también igual a cero. ¿Cuál es el periodo de recuperación de la nueva flotilla?

8. Un fabricante está considerando instalaciones de producción A y B alternativas para producir un producto nuevo. La información siguiente ha sido reunida para el análisis:

	Instalación A (dólares)	Instalación B (dólares)
Costo inicial	17,808,000	9,100,000
Costo fijo anual	300,000	200,000
Costo variable por producto	22.40	27.60
Demanda promedio anual (productos)	600,000	600,000
Precio de ventas por productos	36.00	36.00

Si se ignoran los valores por impuestos y salvamento, ¿cuál es el periodo de recuperación de cada una de las alternativas? ¿Qué costo variable por producto de la instalación A la haría igualmente atractiva a la de la instalación B?

9. Una clínica médica desea ubicar sus oficinas más cerca del hospital del condado. Un corredor de bienes raíces tiene un edificio comercial a su gusto cerca del hospital y está de acuerdo ya sea en vender el edificio directamente o firmar un convenio de arrendamiento a 50 años. A continuación se presenta la información que afecta a este análisis:

	Arrendamiento	Adquisición
Valor de salvamento	—	0
Costo inicial (dls)	—	450,000
Vida económica	30 años	30 años
Depreciación anual (dls)	—	15,000
Pagos anuales por arrendamiento (dls)	45,000	—
Tasa de impuestos	0.4	0.4

Si el periodo de recuperación después de impuestos es inferior a seis años, la clínica adquirirá el edificio; si el periodo es superior a seis años, lo alquilará. ¿Qué deberá hacer la clínica?

10. Se están estudiando dos ubicaciones para la construcción de una nueva planta de manufactura. Dos procesos de producción A y B también están bajo estudio, los costos anuales de operación de cada proceso en las dos ubicaciones son:

	Proceso A		Proceso B	
Ubicación	Costos fijos (dólares)	Costo variable por unidad (dólares)	Costos fijos (dólares)	Costo variable por unidad (dólares)
Phoenix	2,500,000	7.90	5,400,000	3.80
Denver	1,750,000	9.40	3,000,000	5.10

¿En qué rango de resultados sería preferida cada una de las ubicaciones y procesos de producción?

11. Una empresa está estudiando tres ubicaciones para una nueva instalación de producción para producir lectores ópticos para códigos de barra. La empresa ha desarrollado tres estimaciones para las tres ubicaciones:

Alternativa de ubicación	Costos fijos anuales (millones de dólares)	Costo variable por lector óptico de código de barras (dólares)
Dallas	4.9	2,400
San Antonio	3.6	2,700
Houston	4.1	2,500

La empresa estima que las ventas de los lectores ópticos para códigos de barra serán de 5,000 lectores el primer año, 10,000 el tercero y 15,000 el quinto.

a. Utilice un análisis de punto de equilibrio para determinar ¿qué ubicación se preferiría en los años 1, 3 y 5?
b. ¿Para qué rango de capacidad de producción se preferiría cada una de las ubicaciones?

12. El Big River Manufacturing Company planea establecer otra instalación de almacenamiento, para reforzar su sistema de distribución de la Región Oeste. Big River actualmente posee tres almacenes (Seattle, Boise y Phoenix). Se están considerando dos alternativas de ubicación para un nuevo almacén: Denver y Salt Lake City. A continuación aparecen los costos por flete estimados por caja de producto de las dos plantas de manufactura a cada uno de los almacenes existentes y los propuestos, los requerimientos anuales de los almacenes y las capacidades anuales de las plantas de manufactura.

	Ubicación del almacén					Capacidad anual de la
Planta	Seattle (existente)	Boise (existente)	Phoenix (existente)	Denver (propuesta)	Salt Lake City (propuesta)	planta (cajas)
Los Ángeles	3.00 dls	3.50 dls	2.00 dls	4.00 dls	3.15 dls	50,000
Portland	1.50 dls	1.75 dls	3.25 dls	2.75 dls	2.50 dls	50,000
Requerimiento anual de los almacenes (cajas)	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	

Si Big River desea ubicar sólo un almacén adicional y minimizar los costos anuales de embarque desde las dos plantas a los cuatro almacenes:

a. Escriba la función objetivo y las restricciones para dos problemas de programación lineal que evalúen cada una de las ubicaciones de almacén propuestas. Asegúrese de definir sus variables.
b. Utilice el programa de computadora de programación lineal existente en *POM Computer Library*, para resolver ambos problemas de programación lineal.
c. ¿Qué costos anuales de embarque resultan al seleccionar Denver? ¿Salt Lake City?
d. ¿Cuál de las dos ubicaciones es preferible?
e. ¿Cuántas cajas se embarcarán de cada una de las plantas a cada uno de los almacenes?

13. El Blandon County Fire Department está proponiendo localizar una estación adicional para dar servicio a sus usuarios. El departamento actualmente tiene tres estaciones (1, 2 y 3) que dan servicio a tres centros de usuarios (A, B y C). Se están considerando dos estaciones nuevas alternativas: L_4 y L_5. A continuación aparecen el tiempo estimado de respuesta en minutos de cada una de las estaciones existentes y de las propuestas hasta los tres centros de usuarios, el número mínimo de recorridos esperados a cada centro de usuarios y la cantidad máxima de recorridos posibles de cada una de las subestaciones.

	Centro de usuarios			Capacidad anual de la estación
Estación	**A**	**B**	**C**	**(recorrido)**
1	41 min	15 min	21 min	1,000
2	31	22	16	2,000
3	11	29	24	1,000
L_4	14	25	23	2,000
L_5	26	17	12	2,000
Necesidades mínimas anuales desde los centros de usuarios (recorridos)	1,500	2,000	2,000	

Si el departamento desea localizar sólo una estación adicional y minimizar el tiempo de respuesta total anual de las cuatro estaciones a los tres centros de usuarios:

a. Escriba la función objetivo y las restricciones para dos problemas de programación lineal que evalúen cada una de las ubicaciones propuestas para subestaciones. Asegúrese de definir sus variables.
b. Utilice el programa de computadora de programación lineal *POM Computer Library* para resolver ambos problemas de programación lineal.
c. ¿Qué respuesta anual total en tiempo resulta de seleccionar L_4? ¿L_5?
d. ¿Cuál de las dos ubicaciones es la preferida?
e. ¿Cuántos recorridos se efectuarán al año de cada subestación a cada centro de usuarios?

14. WeCare Health Care Inc. es una organización de servicios de atención a la salud de California en crecimiento. Debido al crecimiento reciente de la población en el norte de San Diego, WeCare desearía construir una instalación de urgencias adicional en esta área. La empresa actualmente tiene dos instalaciones de urgencias en el norte de San Diego, en las ubicaciones A y B. Se están considerando dos localizaciones alternativas para la nueva instalación, las ubicaciones C y D. La mayoría de las personas en el norte de San Diego viven en uno de los cuatro centros de población (identificados como 1, 2, 3 y 4). WeCare desearía seleccionar la nueva ubicación con la meta de minimizar la distancia total recorrida por año por las personas de los cuatro centros de población hasta las tres instalaciones de cuidados de urgencia. A continuación aparecen la máxima capacidad de cada una de las instalaciones (en pacientes por año), el número mínimo de personas de cada centro de población que se espera demandarán atención médica en una instalación de urgencias cada año y la distancia de cada centro de población a cada ubicación de instalación.

Centro de población	Instalación A	B	C	D	Número de personas que solicitan atención
1	3	8	7	3	16,000
2	2	3	3	4	20,000
3	6	1	3	7	10,000
4	4	4	2	3	14,000
Capacidad (pacientes/año)	20,000	20,000	20,000	20,000	

a. Escriba la función objetivo y las restricciones para dos problemas de programación lineal que evalúen cada una de las instalaciones de atención de urgencia propuestas. Asegúrese de definir sus variables de decisión.
b. Utilice el programa de cómputo de programación lineal *POM Computer Library* para resolver los dos problemas.
c. ¿Cuáles son las millas anuales totales que se recorrerían en una dirección, si se selecciona la ubicación C? ¿Si se selecciona la ubicación D?
d. ¿Cuál de las dos nuevas ubicaciones recomendaría usted?
e. Con su recomendación del inciso d, ¿cuántas personas de cada uno de los centros de población estarían sujetas a servicio en cada instalación de urgencias al año?

15. Una empresa está estudiando ubicaciones alternativas para una nueva instalación para manufacturar computadoras para negocios pequeños. Parecería que han aparecido dos alternativas, Kansas City y Atlanta. Un analista ha preparado la siguiente información para la decisión de ubicación:

Factores de calificación	Ubicación Kansas City	Atlanta
Factor económico		
Costos anuales de operación (millones de dólares)	54.1	47.4
Factores cualitativos		
Disponibilidad de vivienda	3	4
Costo de la vida	4	4
Disponibilidad de la mano de obra	4	4
Actividades de la comunidad	3	5
Servicios educativos y médicos	4	4
Recreación	3	4
Actividades sindicales	3	4
Sistemas locales de transporte	4	4
Proximidad a industria similar	4	3
Actitud de la comunidad	5	4
Restricciones de uso del suelo	5	4

Nota: Se utiliza una escala de calificación de cinco puntos: 5 = excelente, 4 = bueno, 3 = promedio, 2 = bajo promedio, 1 = pobre.

¿Qué ubicación recomendaría usted? ¿Por qué?

16. Un gran laboratorio de un centro de investigaciones de cómputo está investigando tres ubicaciones alternativas para una nueva instalación. La escala de calificación y la información económica para dichas ubicaciones son:

Factores de calificación	Ubicación Miami, Florida	Seattle, Washington	Santa Fe, Nuevo México
Factor económico			
Costos anuales de operación (porcentaje de ingresos)	76.5	69.5	73.0
Factores cualitativos			
Disponibilidad de vivienda	4	5	2
Facilidad para reclutar científicos	4	4	3
Grado de sindicalización de los trabajadores eventuales	5	3	4
Costos de la construcción y de mano de obra	4	4	3

Factores de calificación	Ubicación		
	Miami, Florida	Seattle, Washington	Santa Fé, Nuevo México
Sistema de transportación urbano	3	4	2
Proximidad a los clientes	1	4	2
Restricciones de uso del suelo	3	4	4
Recreación	4	5	4
Costo de la vida	4	5	3

Nota: Se utiliza una escala de calificación de cinco puntos: 5 = excelente, 4 = bueno, 3 = promedio, 2 = por debajo del promedio, 1 = pobre.

¿Qué ubicación recomendaría usted? ¿Por qué?

17. La empresa del problema 15 está evaluando Kansas City y Atlanta como ubicaciones alternativas para una nueva planta de manufactura de computadoras para pequeños negocios. Se han preparado los siguientes factores y calificaciones siguientes:

Factor de ubicación	Coeficiente de ponderación del factor	Ubicación	
		Kansas City	Atlanta
Costo por computadora	0.60	3,900 dls	4,300 dls
Costo de la vida	0.10	0.60	0.60
Disponibilidad de mano de obra	0.10	0.70	0.70
Actividades sindicales	0.15	0.40	0.60
Proximidad a industria similar	0.10	0.70	0.50
Sistemas locales de transporte	0.05	0.70	0.70

Utilice el enfoque de calificaciones relativas agregadas para comparar las dos ubicaciones alternativas. ¿Qué ubicaciones recomendaría usted? ¿Por qué?

18. Kansas Roofing Materials Company planea ubicar una nueva instalación de producción, ya sea en Kansas City, Topeka o Wichita. Seis factores de ubicación son de importancia: el costo por cuadrado (100 pies cuadrados de material para techo), la disponibilidad de mano de obra, las actividades sindicales, el transporte local, la proximidad a industrias similares y la proximidad a materias primas. A continuación aparece la ponderación de estos factores y los marcadores para cada una de las ubicaciones.

Factor de ubicación	Coeficiente de ponderación	Kansas City	Topeka	Wichita
Costo por pie cuadrado	0.65	13.25 dls	11.93 dls	12.63 dls
Disponibilidad de la mano de obra	0.10	0.90	0.70	0.70
Actividades sindicales	0.10	0.80	0.40	0.60
Transportes local	0.05	0.80	0.50	0.60
Proximidad a industria similar	0.05	0.80	0.40	0.50
Proximidad a materias primas	0.05	0.70	0.60	0.50

Utilice el procedimiento de calificaciones relativas agregadas para comparar las tres ubicaciones alternativas.

CASOS

BLUE POWDER COMPANY

La Blue Powder Company produce pólvora para cartuchos de escopeta en su única planta que está en Cleveland, Ohio. La planta original se construyó en 1861, pero ante presiones ambientales crecientes debido a que está localizada en una gran ciudad, la empresa está considerando tres nuevas alternativas de ubicación para sus oficinas centrales y su planta de manufactura: Las Vegas, Santa Fe y Yuma. Los procesos de producción en Blue Powder requieren aproximadamente

300 obreros y 200 trabajadores de ingeniería y administración, grandes cantidades de agua y otros servicios públicos, una gran extensión de terreno, grandes embarques de materiales hacia dentro y hacia afuera de la planta y áreas tolerantes a incendio y explosión.

Las tres ubicaciones bajo consideración han sido analizadas por el personal de la empresa y para cada una de las ubicaciones se han desarrollado estos costos de operación.

	Las Vegas	Santa Fe	Yuma
Costos fijos anuales (dls)	3,000,000	2,700,000	2,200,000
Costo variable/libra (dls)	0.0500	0.0700	0.1100

Estos costos reflejan todos los costos por reubicación, costos de producción, costos generales, costos de transporte, etc. Este año la empresa produjo 100 millones de libras de pólvora y se espera que las ventas se incrementen en aproximadamente 10 millones de libras anuales. La empresa piensa que ni el volumen ni el precio de las ventas se verá afectado por la ubicación de la planta.

Tarea

1. ¿Qué factores importantes deberán tomarse en consideración al escoger una de las tres alternativas de ubicación?
2. ¿De qué manera se podrían ponderar los factores desarrollados en el punto 1, para la planta de Blue Powder? ¿Cuáles son de mucha importancia y cuáles no deberían ser ponderados con un coeficiente muy alto? Analice y defienda su respuesta.
3. Analice los factores listados en el punto 1 y recomiende un curso de acción para Blue Powder.

Integrated Products Corporation

Integrated Products Corporation (IPC) está evaluando la factibilidad de ubicar una nueva planta manufacturera en dos ubicaciones alternas: Flagstaff y Tulsa. IPC necesita más capacidad de producción para su línea de computadoras para negocios pequeños que la que tiene en sus plantas actuales de Atlanta y El Paso. Uno de los factores más importantes en esta decisión es averiguar cuál es la ubicación que resulte con el costo de embarque anual más bajo desde las tres plantas de manufactura hasta los cinco almacenes regionales. Las siguientes estimaciones de costo de embarque y capacidad de producción son aplicables.

Planta	Capacidad anual (computadoras)	Almacén	Requerimientos anuales (computadoras)
Atlanta	3,400	Chicago	2,350
El Paso	4,600	Dallas	2,800
Flagstaff o Tulsa	5,000	Denver	1,450
		Nueva York	3,700
		San José	2,700

Planta	Almacén	Costo de embarque por computadora	Planta	Almacén	Costo de embarque por computadora
Atlanta	Chicago	45	Flagstaff	Chicago	70
	Dallas	50		Dallas	45
	Denver	70		Denver	40
	Nueva York	55		Nueva York	100
	San José	100		San José	50
El Paso	Chicago	60	Tulsa	Chicago	50
	Dallas	40		Dallas	30
	Denver	45		Denver	50
	Nueva York	105		Nueva York	100
	San José	50		San José	70

Tarea

1. Formule dos problemas de programación lineal para determinar el plan óptimo para cada una de las alternativas de ubicación propuestas.
2. Resuelva los problemas de programación lineal del punto 1 utilizando *POM Computer Library*. ¿Cuál es la solución?
3. ¿Qué significa la solución en términos del problema original?

POWER BYTE COMPUTERS

Chang Yung Chong está considerando si debe abrir una nueva tienda de computadoras de nombre Power Computers en West Lafayette, Indiana. El señor Chong desea avanzar con precaución ya que hay incertidumbre sobre el potencial del mercado para otra tienda de computadoras. Puede abrir una pequeña tienda ahora, abrir una gran tienda ahora, olvidar la idea ahora o hacer que se realice un estudio del potencial del mercado y después decidir si debe o no abrir una tienda grande o pequeña, o no hacer nada. Una empresa de investigación de mercados ha ofrecido llevar a cabo una encuesta del potencial de mercado por 5,000 dólares. La encuesta sugerirá ya sea un mercado favorable o desfavorable para una nueva tienda de computadoras.

Con base en los cálculos, el señor Chong supone que si abre una tienda pequeña, el primer año tendrá una utilidad, en un mercado favorable, de 30,000 dólares, pero que perderá 10,000 dólares el primer año si el mercado es desfavorable. Si abre una tienda grande, cree que el primer año ganará 60,000 dólares en un mercado favorable, pero que perderá 35,000 dólares el primer año ante un mercado desfavorable. Sin mayor discernimiento proveniente de encuestas del potencial del mercado, el señor Chong supone que existe una posibilidad de 50% que el mercado sea favorable.

En tratos iniciales con la empresa de investigación de mercados, el analista de mercadotecnia estimó que había una oportunidad de 60% que una encuesta sugiriera un mercado favorable. El analista admitió con reluctancia que las encuestas de mercadotecnia no siempre evalúan los mercados correctamente. Después de que el señor Chong insistiera en sus indagaciones, el analista estimó que si la encuesta sugería un mercado favorable, entonces la oportunidad de que el mercado realmente fuera favorable era de 90%, pero que si la encuesta sugería la posibilidad de un mercado desfavorable, aun así existiría una oportunidad de 15% que el mercado pudiera ser favorable. Llegado a este punto, el señor Chong se estaba sintiendo algo perplejo.

Tarea

1. ¿Por qué piensa usted que la decisión sobre lo que tiene que hacer parece difícil para el señor Chong?
2. Elabore un árbol de decisiones representando todas las acciones, sucesos y retribuciones posibles.
3. Analice su árbol de decisiones, calculando todos los valores esperados, y recomiende qué debería hacer el señor Chong. (Explique completamente.)
4. Con su recomendación del punto 3, ¿cuál es el resultado financiero neto de un primer año de caso mejor y de caso peor a que quedaría expuesto el señor Chong?
5. Chang Yung Chong ha decidido que no desea quedar expuesto a ninguna perdida neta durante el primer año en exceso de 25,000 dólares. Esto significa que ya no desea abrir una tienda grande. ¿Qué recomendaría usted ahora?

NOTAS FINALES

1. Hansell, Saul. "Wall St. Plans for Trading by the Billions." *New York Times*, 3 de noviembre de 1997, C1, C8.
2. Lee, Steven H. "Hog Farm Will Double Production." *The Dallas Morning News*, 20 de noviembre de 1997, 6D.
3. "Industrial Production and Capacity Utilization." Federal Reserve Statistical Release G.17 (419), emitido el 15 de diciembre de 1997.
4. "Hot Spots." *Business Week*, 19 de octubre de 1992, 80–88.
5. Huff, D. L. "A Programmed Solution for Approximating an Optimal Retail Location." *Land Economics* 42 (agosto de 1966): 293–303.

6. Markland, R. E. "Analyzing Geographically Discrete Warehouse Networks by Computer Simulation." *Decision Sciences* (abril de 1973): 216–236.
7. Wagner, Harvey. *Principles of Operations Research*, pp. 176–182. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1975.
8. Geoffrion, A. M. y G. W. Graves. "Multicommodity Distribution System Design by Benders Decomposition." *Management Science* 20 (enero de 1974); 822–844.

BIBLIOGRAFÍA SELECCIONADA

Andel, Tom. "Ready to Go Global?" *Transportation & Distribution* 38, no. 6 (junio de 1997): 34–44.

Andel, Tom. "Site Location Tools Dig Data." *Transportation & Distribution* 37, no. 6 (junio de 1996): 77–81.

Blackstone, William H., Jr. *Capacity Management.* Cincinnati, OH: South-Western, 1989.

Brausch, John M. y Thomas C. Taylor. "Who Is Accounting for the Cost of Capacity?" *Management Accounting* 78, no. 8 (febrero de 1997): 44–50.

Bulow, J. J. "Holding Idle Capacity to Deter Entry." *Economic Journal* 95 (marzo de 1985): 178–182.

Canary, Patrick H. "International Transportation Factors in Site Selection." *Site Selection* (octubre de 1988): 1217–1219.

Correll, James G. y Norris W. Edson. *Gaining Control: Capacity Management and Scheduling.* Essex Junction, VT: O. Wight Limited Publications, 1990.

Coyle, John J., Edward J. Bardi y C. John Langley, Jr. *The Management of Business Logistics.* St. Paul, Minn.: West Publishing Co., 1996.

Domanski, Bernard. "A Look at Capacity Planning in Distributed Environments." *Capacity Management Review* 25, no. 4 (abril de 1997): 1–21.

Drezner, Zvi ed. *Facility Location: A Survey of Applications and Methods.* Nueva York: Springer Verlag, 1995.

Goldhar, Joel D. y Mariann Jelinek. "Plan for Economies of Scope." *Harvard Business Review* 61, no. 6 (noviembre-diciembre de 1983): 141–148.

Houshyar, Azim y Bob White. "Comparison of Solution Procedures to the Facility Location Problem." *Computers & Industrial Engineering* 32, no. 1 (enero de 1997): 77–87.

Hurter, Arthur P., Jr. y Joseph S. Martinich. *Facility Location and the Theory of Production.* Boston: Kluwer Academic Publishers, 1989.

Jackson, Harry K. y Normand L. Frigon. *A Practical Guide to Capacity Planning and Management.* Nueva York: John Wiley & Sons, 1998.

Klammer, Thomas P. *Capacity Measurement & Improvement: A Manager's Guide to Evaluating and Optimizing Capacity Productivity.* Chicago: Irwin Professional Publishing, 1996.

Schmenner, Roger W. *Making Business Location Decisions.* Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1982.

Swamidass, P. M. "A Comparison of the Plant Location Strategies of Foreign and Domestic Manufacturers in the U.S." *Journal of International Business Studies* 21, no. 2 (segundo trimestre de 1990): 301–317.

CAPÍTULO 8

DISPOSICIÓN FÍSICA DE LAS INSTALACIONES: *MANUFACTURA Y SERVICIOS*



Introducción

Disposiciones físicas para instalaciones de manufactura

Manejo de materiales

Disposiciones físicas por procesos

Disposiciones físicas por productos

Disposiciones físicas para la manufactura celular

Disposiciones físicas para posición fija

Disposiciones físicas mixtas

Nuevas tendencias en las disposiciones físicas para manufactura

Análisis de las disposiciones físicas para instalaciones de manufactura

Planeación de las disposiciones físicas para procesos y almacenes

Análisis de la secuencia de las operaciones • Análisis de diagrama de bloques • Análisis carga-distancia • Análisis de disposiciones físicas utilizando computadoras

Planeación de las disposiciones físicas por productos

Balanceo de la línea • Balanceo de línea de modelos mixtos • Planeación de las disposiciones físicas para manufactura celular

Disposiciones físicas para instalaciones de servicio

Tipos de disposiciones físicas para instalaciones de servicio

Análisis de las disposiciones físicas para instalaciones de servicio

Recopilación: Lo que hacen los productores de clase mundial

Preguntas de repaso y análisis

Tareas en Internet

Problemas

Casos

Integrated Products Corporation

Mexibell Telephones Incorporated

The Carerite Clinic

Notas finales

Bibliografía seleccionada

DISPOSICIONES FÍSICAS MODERNAS: COMPACTAS Y FLEXIBLES

Actualmente, las disposiciones físicas para instalaciones se diseñan con la meta de producir productos y servicios que cumplan con las necesidades de los clientes. Esto significa que las disposiciones físicas deben ser capaces de producir los productos con rapidez y de entregarlos a tiempo; para lograr este objetivo, las disposiciones físicas modernas para las instalaciones son más compactas: tienen aproximadamente una tercera parte del tamaño de las del pasado. A fin de ahorrar espacio, se han reducido drásticamente los inventarios, se diseñan y se juntan equipos más pequeños y se comprimen pasillos y centros de trabajo. Además, se ha capacitado a los trabajadores para realizar más de una tarea, de manera que puedan utilizar el espacio de planta para más de un propósito. Estas disposiciones físicas compactas tienen un efecto estratégico dramático en el desempeño de las fábricas. Los materiales recorren distancias más cortas, los productos pasan a través de la fábrica con mayor rapidez y se atiende a los clientes con mayor efectividad. De la misma manera, se reduce el costo del espacio, del manejo de los materiales y de mantener inventarios. Esto hace que las fábricas y las operaciones de servicio sean más flexibles, ya que pueden hacerse cambios más rápidamente. También, los trabajadores están más cerca unos de otros, lo que ayuda a acelerar los cambios debido a una mejor comunicación y una mejor moral, resultado de grupos de trabajo más compactos.

Disposición física de las instalaciones *significa planear la ubicación de todas las máquinas, servicios, estaciones de trabajo de los empleados, áreas de servicio a los clientes, áreas de almacenamiento de los materiales, pasillos, servicios sanitarios, comedores, bebederos, paredes internas, oficinas y salas de computadoras, así como los patrones de flujo de los materiales y de las personas alrededor, hacia dentro y en el interior de los edificios.* La planeación de la disposición física de las instalaciones debe considerarse como una extensión natural del análisis de la planeación de los procesos del capítulo 4. En la planeación de los procesos, seleccionamos o diseñamos maquinaria de proceso; conjuntamente con el diseño del producto, determinamos las características de los materiales dentro de los productos e introducimos nueva tecnología en las operaciones. A través de las disposiciones físicas de las instalaciones, se prevé el arreglo físico de estos procesos en el interior y alrededor de los edificios, el espacio necesario para la operación de estos procesos y el espacio requerido para las funciones de apoyo. Conforme progresa la planeación de los procesos y la planeación de la disposición física de las instalaciones, hay un intercambio continuo de información entre las dos actividades de planeación, ya que una afecta a la otra.

La tabla 8.1 lista algunos de los objetivos de las disposiciones físicas de las instalaciones para operaciones de manufactura, de almacenamiento, de servicio y de oficina. La tabla está organizada para mostrar en primer término los objetivos para operaciones de manufactura, que también son aplicables a operaciones de almacenamiento, de servicio y de oficina. Después, aparecen los objetivos adicionales para operaciones de almacenamiento, servicio y oficina.

La lectura cuidadosa de los objetivos de las disposiciones físicas de las instalaciones de la tabla 8.1 mostrará que la planeación de las disposiciones físicas de las instalaciones debe quedar vinculada a la estrategia de las operaciones. Recuerde del capítulo 2, Estrategia de las operaciones, que la mezcla de las prioridades competitivas que puede proporcionar la función de las operaciones son: bajos costos de producción, entregas rápidas y a tiempo, productos y servicios de alta calidad y flexibilidad en el producto y en los volúmenes. Los objetivos de la tabla 8.1 que dan la pauta a nuestras disposiciones físicas de las instalaciones deben reflejar una mezcla apropiada de estas prioridades competitivas que están incorporadas en nuestra estrategia de las operaciones. *La estrategia de las operaciones es motor de la planeación de las disposiciones físicas de las instalaciones; las disposiciones físicas de las instalaciones sirven de medio para alcanzar las estrategias de las operaciones.*

DISPOSICIONES FÍSICAS PARA INSTALACIONES DE MANUFACTURA

Entre los muchos objetivos de las disposiciones físicas de las instalaciones, el foco central de la mayoría de las disposiciones físicas para manufactura es minimizar, a todo lo largo del sistema de producción, el costo del procesamiento, del transporte y del almacenamiento de los materiales.

TABLA 8.1 **ALGUNOS OBJETIVOS DE LAS DISPOSICIONES FÍSICAS DE LAS INSTALACIONES**

Objetivos de disposiciones físicas para la operación de manufactura
Proporcionar suficiente capacidad de producción
Reducir los costos de manejo de materiales
Ceñirse a las restricciones existentes del sitio y de los edificios
Dejar espacio para las máquinas de producción
Permitir el uso y productividad elevados de la mano de obra, máquinas y espacios
Proporcionar flexibilidad en los volúmenes y en los productos
Proporcionar espacio para sanitarios, cafeterías y otras necesidades de cuidados personales de los empleados
Proporcionar seguridad y salud a los empleados
Permitir facilidad en la supervisión
Permitir facilidad en el mantenimiento
Lograr los objetivos con una mínima inversión en capital
Objetivos adicionales en disposiciones físicas para la operación de almacenes
Promover una carga y descarga eficiente de vehículos de transporte
Proveer una selección, llenado de pedidos y cargas unitarias del material efectivos
Facilitar los conteos de los inventarios
Promover un registro de inventarios preciso
Objetivos adicionales en las disposiciones físicas para operaciones de servicio
Proporcionar comodidad y conveniencia a los clientes
Proporcionar un entorno atractivo a los clientes
Permitir un despliegue atractivo de la mercancía
Reducir el recorrido del personal o de los clientes
Brindar confidencialidad en áreas de trabajo
Promover la comunicación entre áreas de trabajo
Incluir rotación del material para una vida en estantería larga
Objetivos adicionales en disposiciones físicas para la operación de oficinas
Reforzar la estructura organizativa
Reducir el recorrido del personal y de los clientes
Brindar confidencialidad en áreas de trabajo
Promover la comunicación entre áreas de trabajo

MANEJO DE MATERIALES

Los materiales que se utilizan en la manufactura son muchos: materias primas, componentes comprados, materiales en proceso, productos terminados, materiales de empaque, suministros para mantenimiento y reparación, y desperdicios y desechos. Estos materiales varían enormemente en tamaño, forma, propiedades químicas y características especiales.

La mayoría de esta diversidad de características de los materiales queda definida por decisiones en el diseño del producto. La disposición física de las instalaciones queda afectada directamente por la naturaleza de estos materiales. Todo afecta la disposición física de las instalaciones para el manejo, almacenamiento y procesamiento de estos materiales: materiales grandes y voluminosos, materiales pesados, fluidos, sólidos, materiales flexibles o inflexibles, y materiales que requieren manejo especial para protegerlos de situaciones como calor, frío, humedad, luz, polvo, llama y vibración.

El sistema de manejo de materiales *es la totalidad de una red de transportación que recibe los materiales, los almacena en inventarios, los mueve de un sitio a otro entre puntos de procesamiento dentro y entre edificios, y finalmente deposita los productos terminados en transportes, que los entregarán a los clientes.*

El diseño y la disposición física de los edificios deben integrarse al diseño del sistema de manejo de materiales. Por ejemplo, si se van a utilizar bandas transportadoras elevadas, la estructura del edificio debe ser lo suficientemente resistente para soportar su operación. De manera similar, si se van a transportar cargas pesadas en autotransportes, los pisos deben tener el soporte adecuado para resistir el esfuerzo constante por el golpe diario de estas cargas. Además, los pasillos deben ser lo suficiente-

mente anchos para permitir el paso de los montacargas u otros dispositivos que las recorrerán. Los dispositivos de posición fija como bandas transportadoras también necesitan espacio de planta.

A fin de asegurar el manejo eficiente de los materiales han ido evolucionando ciertos principios como guía para la disposición física de las instalaciones. La tabla 8.2 resume algunos de estos principios básicos; la tabla 8.3 describe algunos de los dispositivos para manejo de materiales. Cada uno de estos dispositivos tiene sus propias características, ventajas y desventajas únicas. Las

TABLA 8.2 **PRINCIPIOS DE MANEJO DE MATERIALES**

1. Los materiales deben pasar a través de la instalación en patrones de flujo directos, minimizando los zigzag o los regresos.
2. Los procesos de producción relacionados deben organizarse para conseguir flujos directos de los materiales.
3. Los dispositivos mecánicos de manejo de materiales deberán diseñarse y localizarse, y las ubicaciones de almacenamiento de materiales deberán seleccionarse de forma que se minimice el esfuerzo humano consumido al inclinarse, estirarse, levantarse y caminar.
4. Los materiales pesados o voluminosos deben moverse la menor distancia posible, por medio de procesos de ubicación que permitan que se utilicen cerca de las áreas de recepción y embarque.
5. Debe minimizarse la cantidad de veces que tenga que moverse un material.
6. La flexibilidad en los sistemas debe permitir situaciones inesperadas, como la ruptura del equipo de manejo de materiales, cambios en la tecnología del sistema de producción y futuras expansiones en la capacidad de producción.
7. En todo momento el equipo móvil deberá usarse a plena carga; deberán evitarse recorridos en vacío y cargas parciales.

TABLA 8.3 **EQUIPO PARA MANEJO DE MATERIALES**

Dispositivo de transferencia automática: Máquinas que toman automáticamente los materiales, los sujetan firmemente mientras se efectúa alguna operación y los transfieren a otras ubicaciones.

Recipientes y dispositivos manuales
Carros manuales: Carros o vagones sin motor, carretillas y transportes empujados por trabajadores.
Tarimas: Estructuras de base sobre las que se apilan y se mueven materiales, utilizando vehículos de manejo de materiales.
Cajas de transporte: Recipientes para almacenamiento y traslado entre operaciones de partes o materiales sueltos.
Cestas de alambre: Recipientes para almacenar componentes sueltos de materiales de inventario.

Bandas transportadoras
De bandas: Bandas impulsadas por motor, generalmente hechas de tela ahulada o metálica, sobre un marco rígido.
De cadenas: Cadenas impulsadas por motor, que arrastran materiales a lo largo de una base de metal deslizante.
Neumáticas: Un flujo elevado de aire corre a través de un tubo y transporta materiales.
De rodillos: Cajas, componentes grandes y cajas unificadas se deslizan rodando sobre una serie de rodillos montados en un marco rígido. Los rodillos pueden estar movidos por motor o libremente.
Tubos: Cadena con cuchillas de arrastre circulares que arrastran materiales por el interior de un tubo.

Grúas: Malacates montados sobre rieles elevados o sobre ruedas o rieles a nivel de piso; levantan, hacen oscilar y transportan materiales grandes y pesados.

Elevadores: Un tipo de grúa que, aunque está en una posición fija, eleva materiales, por lo general entre diferentes pisos de un edificio.

Tuberías: Tubos cerrados que transportan líquidos mediante bombas o gravedad.

Mesas giratorias: Dispositivos que sujetan, indican y hacen girar materiales o componentes de una operación a la siguiente.

Autotransportes: Vehículos eléctricos, dísel, de gasolina o movidos por gas de petróleo licuado, equipados con plataformas, uñas, brazos o cualquier otro dispositivo de sujeción.

Sistemas de vehículos guiados automáticamente (AGVS, por sus siglas en inglés): Trenes, autotransportes de tarimas y transportadores de cargas unitarias sin conductor (vea el capítulo 5 de este libro).

bandas transportadoras, por ejemplo, son de adquisición costosa, típicamente no requieren operadores, siguen rutas fijas y sirven como dispositivos temporales para almacenamiento y detención. Los autotransportes, por otra parte, son de adquisición relativamente poco costosa, no siguen rutas fijas y permiten mayor flexibilidad para el manejo de materiales.

Los cuatro tipos básicos de disposiciones físicas para las instalaciones de manufactura son, proceso, producto, manufactura celular (MC) y posición fija.

Disposiciones físicas por procesos

Las **disposiciones físicas por procesos**, las disposiciones físicas funcionales o tipo taller de tareas como a veces se conocen, están diseñadas para hacer frente a diversos diseños de productos y de pasos de proceso. Vea la figura 4.5 del capítulo 4. *Si la instalación de manufactura produce varios productos sobre pedido en lotes relativamente pequeños, la instalación probablemente utilizará una disposición física por proceso.*

Las disposiciones físicas por proceso típicamente utilizan máquinas de uso general, que se pueden cambiar con rapidez a nuevas operaciones para diferentes diseños de productos. Por lo general, estas máquinas se organizan según el tipo de proceso que ejecutan. Por ejemplo, todo el maquinado se realizaría en un solo departamento, todo el ensamble en otro y toda la pintura en otro más. El equipo de manejo de materiales generalmente consiste de montacargas y otros vehículos móviles, que permiten que se siga una diversidad de trayectorias a través de la instalación para los productos que se fabrican. Los trabajadores en las disposiciones físicas por proceso deben cambiar y adaptarse con rapidez a una multitud de operaciones a realizarse en cada lote único de productos en producción. Estos trabajadores deben estar muy capacitados y requieren gran cantidad de instrucciones de trabajo y de supervisión técnica. Las disposiciones físicas por procesos requieren planeación, programación y funciones de control continuas para asegurar una cantidad óptima de trabajo en cada departamento y en cada estación de trabajo. Los productos se quedan en el sistema de producción durante periodos relativamente largos y en general hay grandes inventarios de proceso presentes.

Disposiciones físicas por productos

*Las **disposiciones físicas por productos** se diseñan para pocos diseños de productos.* Vea la figura 4.4 del capítulo 4. Estas disposiciones físicas se diseñan para permitir el flujo directo de materiales a través de la instalación para los productos. Las plantas de manufactura de automóviles son buenos ejemplos de instalaciones que utilizan una disposición física por producto.

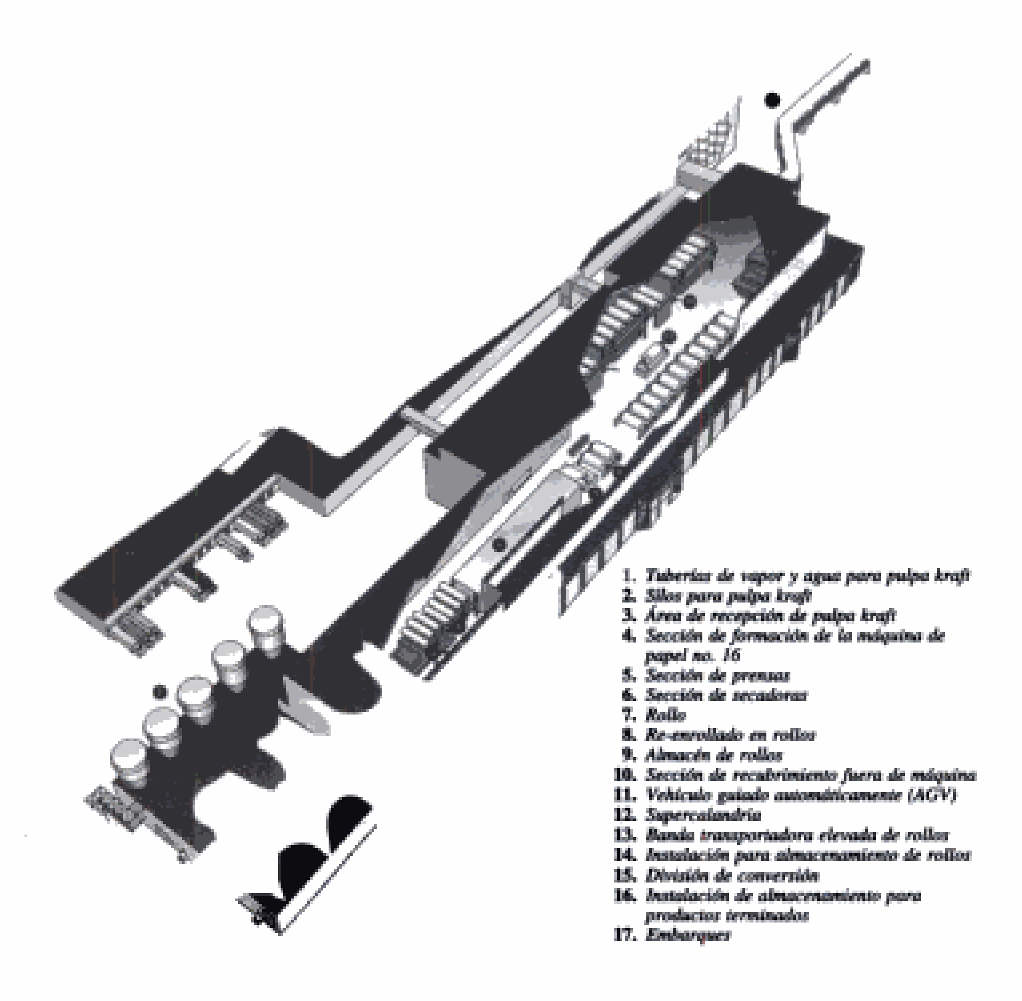
Las disposiciones físicas por productos típicamente utilizan máquinas especializadas, que se ajustan una sola vez, para efectuar una operación específica sobre un solo producto durante un largo periodo. Cambiar estas máquinas para un nuevo diseño de producto significa un gran costo y extensos tiempos perdidos. Generalmente las máquinas se organizan en departamentos de producto. Dentro de cada departamento de producto se pueden realizar varios procesos, como conformado, maquinado y ensamble.

Los trabajadores en las disposiciones físicas por productos hacen repetidamente una gama muy limitada de actividades, sobre sólo unos cuantos diseños de producto. El nivel de capacitación, de habilidades y supervisión requerido es reducido. Aunque las actividades de programación y planeación asociadas con estas disposiciones físicas son complejas, no son permanentes: más bien, la planeación y programación tienden a efectuarse intermitentemente conforme ocurren cambios de productos.

Disposiciones físicas para la manufactura celular

*En la **manufactura en celdas** o **celular** (MC), las máquinas se agrupan en celdas, que funcionan de manera similar a una isla con disposición física por producto, dentro de una disposición física tipo taller de tareas o para procesos más amplia.* La figura 4.7 del capítulo 4 ilustra la disposición física MC. Cada celda en una disposición física MC está formada con el fin de producir una única **familia de componentes:** unas cuantas piezas, todas ellas con características comunes, lo que generalmente implica que requieren de las mismas máquinas y los mismos o similares ajustes de máquina. La Instantánea industrial 8.1 describe la naturaleza de las celdas de manufactura en la industria actual.

A pesar de que la disposición física de una celda puede tomar muchas formas diferentes, el flujo de componentes tiende a ser más parecido al de una disposición física por producto que al de una tipo taller de tareas. Es conveniente utilizar la disposición física MC pues:



La instalación física de Consolidated Papers en Wisconsin Rapids, Wisconsin, costó 495 millones de dólares y puede producir 212,000 toneladas de papel couché barnizado para impresión de informes anuales, folletería, volantes, insertos en revistas y otras aplicaciones de impresión comercial. La instalación de la planta es la más grande de la empresa y mide cinco cuadras de largo y dos de ancho. Los puntos más elevados del complejo son las instalaciones de productos terminados y de almacenamiento de rollos de papel, mismos que alcanzan una altura de nueve pisos.

- Se simplifican los cambios de máquinas.
- Se reduce el tiempo de capacitación de los trabajadores.
- Se reducen los costos de manejo de materiales.
- Los componentes se pueden fabricar más aprisa y embarcar con mayor rapidez.
- Se requiere un inventario de proceso inferior.
- La producción es más fácil de automatizar.

El primer paso en el desarrollo de una disposición física MC, es la **decisión de formación de una celda,** la decisión inicial sobre cuáles máquinas de producción y qué componentes de un grupo entrarán en la celda. Posteriormente, las máquinas se organizan dentro de cada una de ellas.

Disposiciones físicas para posición fija

Algunas empresas de manufactura y construcción utilizan una disposición física para la organización del trabajo que localiza el trabajo en una posición fija y transporta a trabajadores, materiales, máquinas y subcontratistas desde y hacia el producto. La figura 8.1 muestra este tipo de disposición física. El ensamble de misiles y de aviones grandes, la construcción de barcos y de puentes, son ejemplos de **disposiciones físicas para posición fija.** Las disposiciones físicas para posición fija se utilizan cuando el producto es muy voluminoso, grande, pesado o frágil. La naturaleza de posición fija de la disposición física minimiza el movimiento requerido del producto.

Disposiciones físicas mixtas

La mayoría de las instalaciones para manufactura utilizan una combinación de tipos de disposición física. La figura 8.2 muestra una disposición física mixta, donde los departamentos quedan organizados según las clases de procesos, pero los bienes fluyen a través de una disposición física pa-

INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 8.1

NATURALEZA DE LAS CELDAS DE MANUFACTURA

1. La mayoría de las aplicaciones MC se presenta en la producción metalmecánica, ya sea en operaciones de máquinas herramienta o de equipo para fabricación metálica.
2. Por lo general, las celdas se forman tomando la producción de componentes de un sistema tipo taller de tareas existente.
3. El porcentaje de componentes que se producen en celdas es una fracción relativamente pequeña de la producción total. La producción en las celdas promedia aproximadamente 10% del total. Más o menos la mitad de las empresas informan que 25% o menos de sus horas máquina se utilizaron en celdas. Las celdas generalmente aparecen como islas dentro de talleres más grandes.
4. Tanto empresas pequeñas como grandes utilizan celdas de manufactura. Estos usuarios tienen de 300 a 17,000 empleados en total y de 90 a 3,000 máquinas.
5. En las celdas se producen lotes de componentes de tamaño moderado: un promedio de aproximadamente 6,000 componentes por año de cada tipo y lotes de un tamaño promedio aproximado de 750 piezas.
6. La cantidad de celdas en una disposición física MC es relativamente pequeña. El promedio es de aproximadamente cinco o seis, y casi la tercera parte de las empresas tienen tres celdas o menos.
7. La cantidad de máquinas de producción por celda es relativamente pequeña. El promedio es de aproximadamente seis, y casi la mitad de las empresas tienen entre cuatro y seis máquinas por celda. Los componentes rara vez pasan por todas las máquinas dentro de una celda.
8. Hay relativamente pocos trabajadores dentro de la celda. Para celdas con personal, el rango está entre dos y 15.

Fuente: Gaither, N., G. V. Frazier y J. C. Wei. "From Job Shops to Manufacturing Cells." *Production and Inventory Management Journal* 31, no. 4 (cuarto trimestre de 1990): 33–36.

ra producto. Otro ejemplo de disposición física mixta, es el ensamble final de un avión comercial Boeing (por ejemplo, los modelos 737, 747, 757, 767 y 777). Durante su ensamble final, cada jet está en una nave de ensamble de posición fija. Sin embargo, cada dos o tres días, cada aeronave se rueda fuera de la nave y se empuja a la siguiente nave de ensamble, donde se efectúan tareas de ensamble diferentes, por lo que, aunque un jet se ensambla en dos o tres días, en posición fija, pasa a través de seis a ocho naves de ensamble, en una forma de disposición física para producto.

Aunque las mezclas hacen que resulte difícil la identificación de los tipos de disposición física, es importante comprender las características, ventajas y desventajas de cada tipo de disposición física básico.

NUEVAS TENDENCIAS EN LAS DISPOSICIONES FÍSICAS PARA MANUFACTURA

La tabla 8.4 compara y contrasta las disposiciones físicas tradicionales con las modernas. *En general, las disposiciones físicas de los fabricantes estadounidenses tradicionalmente se diseñaron para una elevada utilización de trabajadores y máquinas, en tanto que las disposiciones físicas modernas se hacen para lograr calidad y flexibilidad para tener la capacidad de pasar rápidamente a nuevos modelos de productos o a diferentes tasas de producción.*

Conforme las instalaciones estadounidenses se mueven hacia disposiciones físicas modernas, se pueden observar las siguientes tendencias en las disposiciones:

- Disposiciones físicas para manufactura celular dentro de disposiciones físicas más grandes de procesos.
- Equipo automatizado de manejo de material, especialmente sistemas automatizados de almacenamiento y de recuperación, sistemas de vehículos guiados automáticamente, dispositivos de transferencia automática y mesas giratorias.
- Las líneas de producción en forma de U, que permiten a los trabajadores visualizar toda la línea y recorrer con facilidad una a otra estación. Esta forma permite la rotación de los trabajadores entre estaciones de trabajo de un sitio a otro de las líneas, para eliminar el aburrimiento y compensar desequilibrios en el trabajo entre estaciones de trabajo. Además, al agru-

FIGURA 8.1 DISPOSICIÓN DE POSICIÓN FIJA

Almacenamiento de materiales #1
Almacenamiento de materiales #2
Almacenamiento de materiales #3
Almacenamiento de materiales #4
A Subcontratista
B Subcontratista
C Subcontratista
Grupo de empleados #1
Grupo de empleados #2
Grupo de empleados #3
Grupo de máquinas #1
Grupo de máquinas #2
Grupo de máquinas #3

FIGURA 8.2 DISPOSICIÓN FÍSICA MIXTA PARA LA PRODUCCIÓN DE LOS PRODUCTOS X Y Y

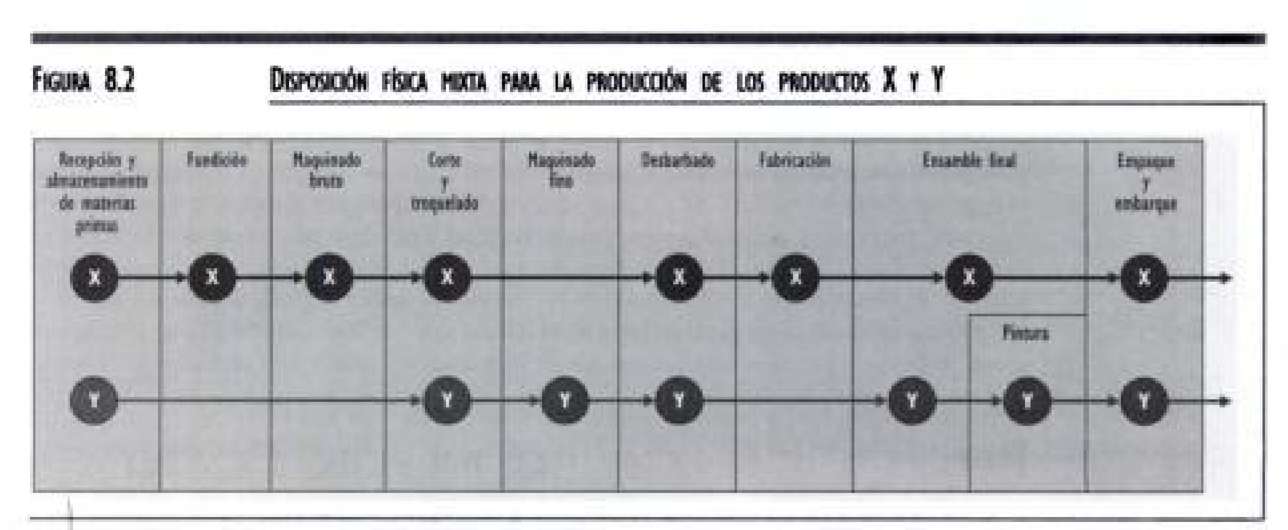


TABLA 8.4 **DISPOSICIONES FÍSICAS ESTADOUNIDENSES TRADICIONALES COMPARADAS CON LAS MODERNAS**

Características de las disposiciones físicas tradicionales

Objetivo principal: Una elevada utilización de máquinas y trabajadores.

Medios para cumplir el objetivo: Corridas largas de producción, asignaciones fijas de puestos a trabajadores, para obtener beneficios de la especialización de la mano de obra, inventarios para proteger contra descomposturas de maquinaria, tasas constantes de producción y separación de defectuosos para su retrabajo posterior, y grandes máquinas de producción mantenidas continuamente a plena carga.

Apariencia de las disposiciones físicas: Naves muy grandes de planta de manufactura, extensas áreas reservadas a inventarios, mucho espacio utilizado para largas bandas transportadoras y otros dispositivos de manejo de materiales, grandes máquinas de producción que requieren mucho espacio de planta, líneas de producción en forma de L o en línea y, en general, subutilización del espacio de planta.

Características de las disposiciones físicas modernas

Objetivo principal: Calidad y flexibilidad en el producto, capacidad de modificar rápidamente las tasas de producción y de pasar a diferentes modelos de productos.

Medios para cumplir el objetivo: Trabajadores capacitados en muchos puestos, fuertes inversiones en mantenimiento preventivo y máquinas pequeñas que pueden cambiar rápidamente a diferentes modelos de producto. Se alienta a los trabajadores a ejercitar su iniciativa en la solución de problemas de calidad y de producción conforme vayan ocurriendo, los trabajadores y las máquinas se mueven según se requiera para la resolución de los problemas de producción, las líneas de producción reducen su velocidad y las fallas de máquina o los problemas de calidad se resuelven conforme vayan apareciendo, se mantiene poco inventario y las estaciones de trabajo se colocan cerca una de otra.

Apariencia de las disposiciones físicas: Naves de la planta de manufactura relativamente pequeña, disposiciones físicas compactas y muy juntas, gran porcentaje del espacio de la planta utilizado para la producción, menos espacio de planta utilizado para inventarios o dispositivos de manejo de materiales y líneas de producción en U.

parse los trabajadores en áreas más pequeñas se consigue un mejor trabajo en equipo y una moral más elevada, alentando la comunicación y el contacto social.

- Más áreas de trabajo abiertas, con menos paredes, mamparas y otros obstáculos para tener vistas claras de estaciones de trabajo adyacentes.
- Disposiciones de fábrica más pequeñas y compactas. Con más automatización, por ejemplo robots, se requiere de menos espacio para trabajadores. Las máquinas se pueden colocar más cerca una de otra, y los materiales y productos recorren distancias más cortas.
- Menos espacio para el almacenamiento de inventarios en toda la disposición física.

La Instantánea Industrial 8.2 describe la forma en que una empresa ahorró espacio de planta al modernizar su disposición física fabril.

ANÁLISIS DE LAS DISPOSICIONES FÍSICAS PARA INSTALACIONES DE MANUFACTURA

Quizás la técnica más común de disposición física de las instalaciones es el uso de **plantillas** o **modelos** de dos o de tres dimensiones, sobre un plano de planta del edificio. Los analistas cambian este tipo de modelos de máquinas, escritorios y otros equipos —hechos a la misma escala que el plano de planta del edificio— a diversas posiciones. Consiguen una disposición física detallada en la cual materiales y personal pueden fluir de un lugar a otro con poco recorrido en exceso. El método de plano de planta/plantilla es particularmente útil en el desarrollo de una disposición física para un departamento o edificio existente, o cuando se conoce la configuración del edificio.

Otras técnicas de disposición difieren entre los tres tipos de disposiciones físicas: las disposiciones físicas para procesos y para almacenes, las disposiciones físicas para productos y las disposiciones físicas para MC.

PLANEACIÓN DE LAS DISPOSICIONES FÍSICAS PARA PROCESOS Y ALMACENES

A menudo, para desarrollar este tipo de disposiciones físicas, se utilizan el análisis de la secuencia de las operaciones, el análisis del diagrama de bloques y los análisis de carga distancia.

INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 8.2

LA FÁBRICA DE BOEING AHORRA ESPACIO

La Boeing Company tiene una planta de manufactura en Spokane, Washington, que produce principalmente paneles de piso y ductos de aire para sus jets comerciales. En 1996, Boeing hizo cambios sustanciales en los diseños de los procesos y en la disposición física de las instalaciones en esta planta. Como parte de una transformación en toda la empresa a procedimientos modernos de producción, la planta de Spokane se convirtió a una instalación de manufactura esbelta. Se eliminó gran parte del inventario de trabajo en proceso, se rediseñaron los flujos de componentes y las máquinas se acercaron más entre sí.

Además de obtener tiempos de entrega más cortos y menores costos de operación, un resultado fue la liberación de espacio de planta en el edificio. Antes de convertirse en manufactura esbelta, se utilizaba todo el edificio; después de la conversión, aproximadamente la mitad del espacio de planta de manufactura quedó libre. Varios meses más tarde, la mitad del edificio seguía vacío y estaba planteando un dilema interesante al gerente de la planta y a Boeing: qué hacer con este espacio vacío.

Análisis de la secuencia de las operaciones *El **análisis de la secuencia de las operaciones** desarrolla un buen esquema para la disposición de los departamentos, al analizar de manera gráfica el problema de disposición física.*[1] El ejemplo 8.1 desarrolla el arreglo de 10 departamentos en una instalación de manufactura. Demuestra la manera en que pudiéramos determinar la ubicación de los departamentos de operación, en relación uno con otro, cuando ni la forma ni las dimensiones externas del edificio son factores limitantes.

EJEMPLO 8.1

ANÁLISIS DE LA SECUENCIA DE OPERACIONES

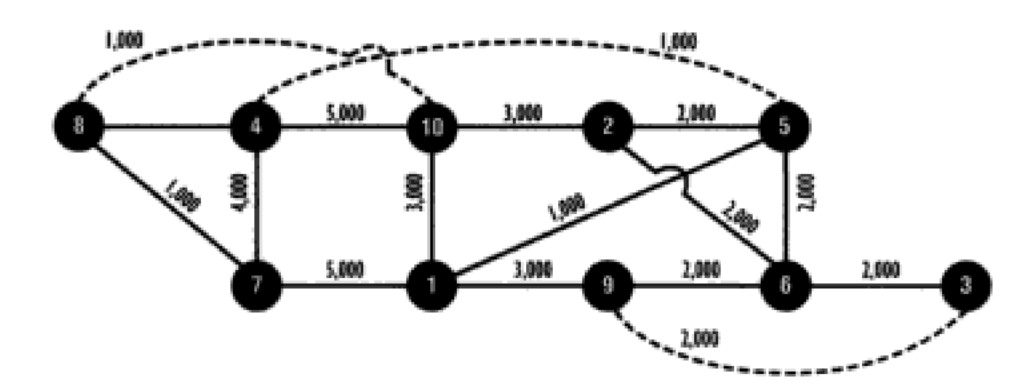
Red Crystal Glass Products Company produce seis productos que se transportan entre 10 departamentos de operación dentro de su actual planta de producción. Red Crystal está planeando construir el siguiente año una nueva instalación de producción en una nueva ubicación y desea diseñar una disposición física de planta para la nueva instalación. Bill Dewey recibió esta importante tarea. De importancia vital para la nueva disposición física es la cantidad total de productos mensuales que se mueven entre los departamentos de operación de Red Crystal:

		Departamento y código					
Código del departamento	**Descripción del departamento**	**Esmeril 5**	**Pintura 6**	**Barrenado 7**	**Retrabajo 8**	**Cerámica 9**	**Embarque y recepción 10**
1	Soplar y moldear	1,000		5,000		3,000	3,000
2	Tratamiento térmico	2,000	2,000				3,000
3	Formación del cuello		2,000			2,000	
4	Empacar	1,000		4,000			5,000
5	Esmerilar		2,000				
6	Pintar					2,000	
7	Perforar				1,000		
8	Retrabajar						1,000
9	Recubrimiento						
10	Embarque y recepción						

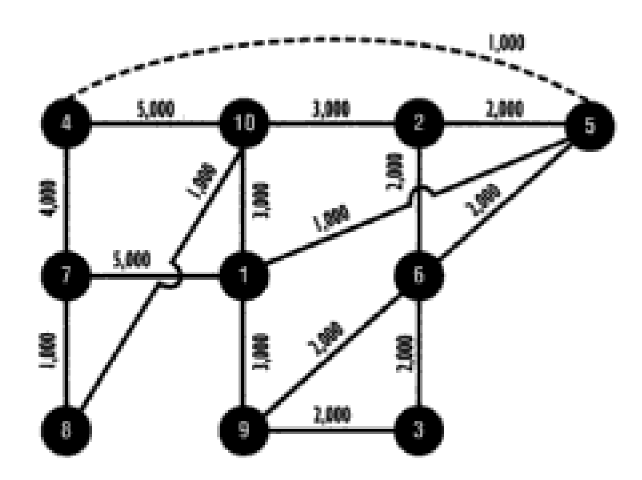
Bill desea desarrollar un diagrama esquemático de los flujos de productos entre departamentos de operación.

SOLUCIÓN

Primero, desarrolle un diagrama esquemático inicial con círculos representando departamentos y líneas que representan el recorrido de productos entre ellos. La cantidad mensual de productos que pasan entre departamentos se escribe sobre las líneas:



A continuación, reestructure el diagrama inicial para mover los departamentos más cerca uno del otro cuando la cantidad de movimientos de producto entre ambos sea elevado y mueva los departamentos para lograr una forma casi rectangular. Por ejemplo, del diagrama de arriba, el departamento 3 se puede mover más cerca del departamento 9 y los departamentos 8, 9 y 6 se pueden desplazar para crear una forma más rectangular:



Una inspección adicional de este diagrama esquemático revela que no hay ningún otro cambio en las ubicaciones de los departamentos que mejore sustancialmente esta disposición física.

Análisis de diagrama de bloques El ejemplo 8.2 toma el diagrama esquemático final del ejemplo 8.1 y desarrolla *un **análisis de diagrama de bloques** que establece la forma y dimensiones generales del edificio y la ubicación de los límites interiores departamentales.*

EJEMPLO 8.2

ANÁLISIS DE DIAGRAMA DE BLOQUES

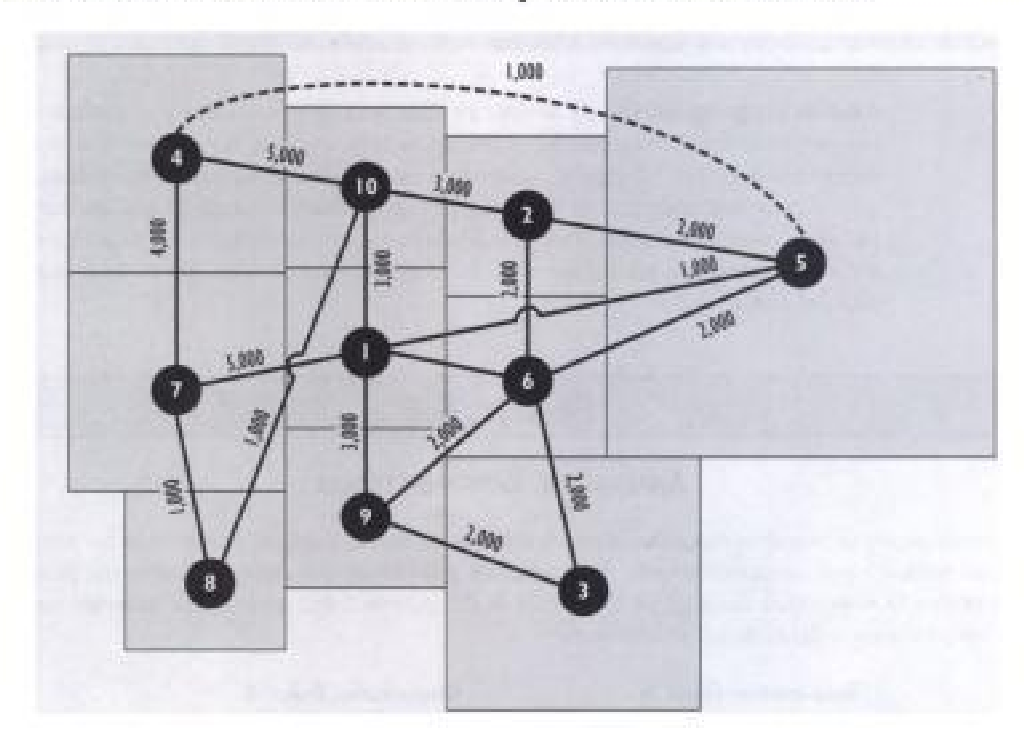
Bill Dewey, en la Red Crystal Glass Products Company, desea desarrollar una disposición física departamental a partir del diagrama esquemático del ejemplo 8.1. Aunque el diagrama esquemático final de ese ejemplo muestra las relaciones generales entre departamentos de operación, ahora Bill debe determinar las dimensiones del edificio y dónde quedarán las fronteras departamentales internas. De importancia vital para esta disposición física del edificio son las áreas que requiere cada uno de los departamentos:

Departamento	Área requerida (pies cuadrados)	Departamento	Área requerida (pies cuadrados)
1. Soplar y moldear	200	6. Pintar	200
2. Tratamiento térmico	200	7. Perforar	400
3. Formación del cuello	400	8. Retrabajo	200
4. Empacar	400	9. Recubrimiento	200
5. Esmerilar	900	10. Embarque y recepción	200

Bill desea utilizar un análisis de diagrama de bloques para desarrollar una disposición física departamental para el nuevo edificio de Red Crystal.

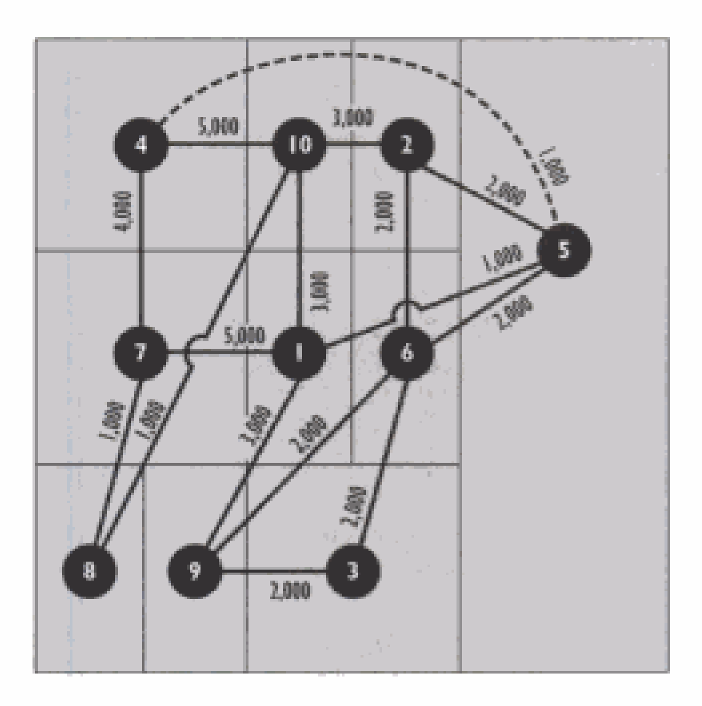
SOLUCIÓN

Primero, utilice el diagrama esquemático final del ejemplo 8.1 y coloque cada círculo de departamento en el centro de un cuadrado con el área relativa, que se muestra en la tabla anterior:



Observe que esta disposición física conserva las mismas relaciones generales entre departamentos, pero las fronteras externas de las instalaciones resultan demasiado irregulares para un diseño práctico de edificio.

A continuación, modifique las formas de los departamentos para que ajusten al sistema en un edificio rectangular y que al mismo tiempo conserven el área requerida por cada departamento y las mismas relaciones entre ellos:



Este diagrama de bloques es la disposición física departamental propuesta por Bill para el nuevo edificio.

Análisis carga-distancia El análisis de secuencia de operaciones y el análisis de diagrama de bloques no desarrollan disposiciones físicas óptimas, es decir, *las mejores*, sino solamente buenas disposiciones físicas. No resulta extraño para estos análisis desarrollar dos o más diagramas de bloques alternativos, cada uno de los cuales parece igualmente bueno. ***El análisis carga-distancia** es útil para comparar disposiciones físicas alternas, para identificar cuál tiene el mínimo recorrido del producto o de materiales por periodo.* El ejemplo 8.3 compara dos de estas alternativas de disposición física.

Ejemplo 8.3

Análisis de carga-distancia

A continuación se muestran dos alternativas de disposición física. También se muestran los productos en las instalaciones, su recorrido entre departamentos y las distancias entre departamentos para cada alternativa de disposición física. ¿Qué alternativa de disposición física minimiza el recorrido mensual de los productos a través de las instalaciones?

Disposición física A

8	4	10	2	5
3	7	1	9	6

Disposición física B

7	1	9	6	3
4	10	2	5	8

Combinación de movimientos de departamentos	Distancia entre departamentos (pies)		Combinación de movimientos de departamentos	Distancia entre departamentos (pies)	
	Disposición física A	Disposición física B		Disposición física A	Disposición física B
1–5	30	30	3–9	30	20
1–7	10	10	4–5	30	30
1–9	10	10	4–7	10	10
1–10	10	10	4–10	10	10
2–5	10	10	5–6	10	10
2–6	20	20	6–9	10	10
2–10	10	10	7–8	20	50
3–6	40	10	8–10	20	30

Producto	Secuencia de proceso por departamento	Cantidad de productos procesados mensualmente	Producto	Secuencia de proceso por departamento	Cantidad de productos procesados mensualmente
a	1–5–4–10	1,000	d	1–7–8–10	1,000
b	2–6–3–9	2,000	e	2–5–6–9	2,000
c	2–10–1–9	3,000	f	1–7–4–10	4,000

SOLUCIÓN

1. Primero, calcule el recorrido total de cada producto a través de cada alternativa de disposición física:

Producto	Secuencia de proceso por departamento	Calcule la distancia por producto (pies)	
		Disposición física A	Disposición física B
a	1–5–4–10	30 + 30 + 10 = 70	30 + 30 + 10 = 70
b	2–6–3–9	20 + 40 + 30 = 90	20 + 10 + 20 = 50
c	2–10–1–9	10 + 10 + 10 = 30	10 + 10 + 10 = 30
d	1–7–8–10	10 + 20 + 20 = 50	10 + 50 + 30 = 90
e	2–5–6–9	10 + 10 + 10 = 30	10 + 10 + 10 = 30
f	1–7–4–10	10 + 10 + 10 = 30	10 + 10 + 10 = 30

2. A continuación, calcule la distancia mensual total recorrida para cada producto en cada alternativa de disposición física.

Producto	Cantidad de productos procesados mensualmente	Distancia por producto (pies)		Distancia por mes (pies)	
		Disposición física A	Disposición física B	Disposición física A	Disposición física B
a	1,000	70	70	70,000	70,000
b	2,000	90	50	180,000	100,000
c	3,000	30	30	90,000	90,000
d	1,000	50	90	50,000	90,000
e	2,000	30	30	60,000	60,000
f	4,000	30	30	120,000	120,000
			Total	570,000	530,000

3. La disposición física B da como resultado la menor distancia total recorrida mensualmente por los productos a través de la instalación.

Las tres técnicas de análisis de disposición física que se presentaron: la secuencia de las operaciones, el diagrama de bloques y el análisis carga-distancia, se pueden utilizar independientemente de que el analista esté o no limitado por la configuración del edificio. Estos análisis se inician con los procesos de la producción y desarrollan una disposición física que define la configuración del edificio. Pero algunas veces, debemos iniciar con un edificio dado y desarrollar una disposición física dentro de sus dimensiones. Los lugares pueden ser tan pequeños o de tamaño o dimensiones tan extrañas, que sólo son factibles edificios de cierta forma. Los departamentos existentes deben expandirse. Todos estos son solamente ejemplos de **iteraciones.** En estos casos, resulta inevitable que empecemos con una configuración del edificio y regresemos al diseño de la disposición física.

Análisis de disposiciones físicas utilizando computadoras Se han hecho muchos programas de computadora para desarrollar y analizar disposiciones físicas para procesos. Tres de los análisis por computadora mejor conocidos son ALDEP, CORELAP y CRAFT.[2]

ALDEP (programas de diseño de disposición física automatizados) y CORELAP (planeación de relaciones de disposiciones físicas computarizados) son similares porque utilizan esencialmente los mismos procedimientos y la misma lógica. En lugar de tomar en consideración la cantidad de productos que fluyen entre departamentos, estos programas utilizan **calificaciones de cercanía,** que son medidas relativas de lo deseable que resulta que los departamentos estén cerca entre sí. Estos programas maximizan la calificación total de cercanía para todos los departamentos, siempre cumpliendo con las características requeridas del edificio. Es factible la solución de problemas muy grandes y complejos de disposición física y cada resultado de análisis publica una disposición física de bloques trazada del plano de planta.

CRAFT (una asignación relativa computarizada de las instalaciones), utiliza el mismo procedimiento y lógica básica que la secuencia de las operaciones y los análisis de diagrama de bloques. CRAFT minimiza el costo total de manejo de materiales por periodo de tiempo para dicha disposición física. Los movimientos de materiales por periodo de tiempo se convierten a un costo por periodo de tiempo para los movimientos de cada material entre departamentos. Los analistas introducen una disposición física de bloques inicial y CRAFT modifica la disposición física inicial, hasta que resulta imposible ninguna mejoría adicional en el costo. Estas disposiciones físicas iniciales dan como resultado diferentes disposiciones físicas CRAFT, por lo que se aconseja alguna experimentación. El programa puede manejar también problemas grandes y complejos de disposición física y al mismo tiempo cumplir con las características complejas de los edificios. Los resultados del programa son una disposición de bloques trazada en un plano de planta y el costo de las disposiciones físicas.

Estos y otros programas de computadora pueden ahorrar tiempo y esfuerzo en problemas grandes y complejos de disposición física, pero sus resultados son sólo el principio de una disposición física terminada. Sus disposiciones físicas deben afinarse manualmente y revisarse en su lógica y por lo general, máquinas y otros elementos de la disposición física deben ajustarse a mano utilizando plantillas y modelos.

PLANEACIÓN DE LAS DISPOSICIONES FÍSICAS POR PRODUCTOS

El análisis de las líneas de producción es el foco central del análisis de disposiciones físicas por productos. El diseño del producto y la demanda del mercado para los productos es la que finalmente determina los pasos de procesos tecnológicos y la capacidad requerida de las líneas de producción. Entonces debe determinarse la cantidad de trabajadores, de máquinas atendidas o sin atención, y de herramientas requeridas para satisfacer la demanda del mercado. Esta información se obtiene mediante el balanceo de la línea.

Balanceo de la línea El **balanceo de la línea** es el análisis de las líneas de producción que divide prácticamente por igual el trabajo a realizarse entre estaciones de trabajo, de forma que sea mínima la cantidad de estaciones de trabajo requeridas en la línea de producción. La tabla 8.5 resume algunos de los términos utilizados en el balanceo de líneas y la tabla 8.6 describe el procedimiento de balanceo de líneas.

Las líneas de producción tienen estaciones y centros de trabajo organizados en secuencia a lo largo de una línea recta o curva. Una estación de trabajo es el área física donde un trabajador con herramientas, un trabajador con una o más máquinas o una máquina sin atención, como un robot, efectúa un conjunto particular de tareas. Un centro de trabajo es el agrupamiento pequeño de estaciones de trabajo idénticas con cada una de las estaciones de trabajo ejecutando el mismo conjunto de tareas. La meta del análisis de las líneas de producción es determinar cuántas estaciones de trabajo tener y cuántas tareas asignar a cada una de ellas, de forma que se utilice el mínimo de trabajadores y de máquinas al proporcionar la capacidad requerida.

TABLA 8.5 **TERMINOLOGÍA DEL ANÁLISIS DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN**

Tareas Elementos del trabajo. Tomar lápiz, poner el lápiz sobre el papel para escribir y escribir el número 4 es un ejemplo de tarea.

Precedencia de las tareas La secuencia u orden en la que deben ejecutarse las tareas. La precedencia de cada tarea se conoce a partir de un listado de tareas que la preceden.

Tiempos de las tareas El tiempo requerido para que un trabajador bien entrenado o capacitado o una máquina sin atención ejecute la tarea. Por lo general, los tiempos de las tareas se expresan en minutos.

Tiempos del ciclo El tiempo en minutos entre productos que salen al final de la línea de producción.

Tiempo productivo por hora La cantidad de minutos en una hora que en promedio está trabajando una estación de trabajo. Ésta pudiera no estar trabajando debido a factores como almuerzo, tiempo personal, paradas por falla, arranques y detenciones.

Estación de trabajo Ubicación física donde se realiza un conjunto particular de tareas. Las estaciones de trabajo generalmente son de dos tipos: estación de trabajo con personal, que contiene a un trabajador que opera máquinas y/o herramientas, y estación sin personal, que contiene máquinas sin atención, como robots.

Centro de trabajo Ubicación física donde se localizan dos o más estaciones de trabajo idénticas. Si se requiere más de una estación de trabajo para proporcionar suficiente capacidad de producción, se combinan para formar un centro de trabajo.

Cantidad de estaciones de trabajo en funcionamiento La cantidad de trabajo a realizarse en un centro de trabajo expresado en el número de estaciones de trabajo; 28 horas de trabajo en un centro de trabajo de un turno de 80 horas sería el equivalente de 28/8, es decir, a 3.5 estaciones de trabajo en funcionamiento.

Cantidad mínima de estaciones de trabajo El número mínimo de estaciones de trabajo que pueden cumplir con la producción requerida, calculado de la siguiente manera:

$$\frac{\text{Suma de todos los tiempos de tareas}}{\text{Tiempo del ciclo}} = \frac{\text{Suma de todos los tiempos de tareas} \times \text{Demanda por hora}}{\text{Tiempo productivo por hora}}$$

Cantidad real de estaciones de trabajo El número total de estaciones de trabajo requeridas en una línea completa de producción calculada, como el valor entero siguiente superior al número de estaciones de trabajo en funcionamiento.

Utilización Porcentaje del tiempo que una línea de producción está funcionando, esto por lo general se calcula de la siguiente manera:

$$\frac{\text{Número mínimo de estaciones de trabajo}}{\text{Número real de estaciones de trabajo}} \times 100$$

TABLA 8.6 **PROCEDIMIENTO DE BALANCEO DE LÍNEAS**

1. Determine las tareas que deben hacerse para completar una unidad de un producto en particular.
2. Determine el orden o secuencia en la deben llevarse a cabo las tareas.
3. Dibuje un diagrama de precedencia, se trata de un diagrama de flujo, en que los círculos representan tareas y las flechas que las interconectan representan las precedencias.
4. Estimar los tiempos de las tareas.
5. Calcule el tiempo del ciclo.
6. Calcule el tiempo mínimo de las estaciones de trabajo.
7. Utilice una de las heurísticas para asignar tareas a las estaciones de trabajo, de manera que la línea de producción quede balanceada.

Supongamos que necesitamos un producto que debe salir del extremo de una línea de producción cada cinco minutos; entonces, el tiempo del ciclo es de cinco minutos, lo que significa que debe salir un producto de cada estación de trabajo cada cinco minutos o menos. Si el tiempo requerido para hacer las tareas en una estación de trabajo fuera de 10 minutos, entonces se combinarían dos estaciones en un centro de trabajo, de forma que estuvieran saliendo del centro dos productos cada 10 minutos, es decir, el equivalente de uno cada cinco minutos. Por otra parte, si la cantidad de trabajo asignada a una estación de trabajo es de sólo cuatro minutos, la estación de trabajo trabajaría cuatro

FIGURA 8.3 **PASOS EN LA HEURÍSTICA DE LA UTILIZACIÓN INCREMENTAL***

Empiece del lado izquierdo del diagrama de precedencias

① Empiece la nueva estación de trabajo asignando la siguiente tarea no asignada en el diagrama de precedencia a la siguiente estación de trabajo; calcule la utilización de los trabajadores para la estación de trabajo.*

Cierre las asignaciones a la estación de trabajo anterior; inicie una nueva estación de trabajo.

La estación de trabajo ya está completa. Cierre las asignaciones y empiece la nueva estación de trabajo.

¿Es la utilización a 100%?

SÍ

NO

¿Se han asignado todas las tareas?

SÍ

NO

ALTO

② Continúe agregando tareas a esta estación de trabajo asignando la siguiente tarea no asignada factible en el diagrama de precedencia a esta estación de trabajo; calcule la utilización de los trabajadores a esta estación de trabajo.*

¿Es la utilización a 100%?

SÍ

NO

¿Es la utilización ≥ a la última utilización?

NO

SÍ

Elimine la última tarea de esta estación de trabajo; queda sin asignar.

¿Se han asignado todas las tareas?

NO

SÍ

$$\text{*Utilización} = \frac{\text{Número mínimo de estaciones de trabajo}}{\text{Número real de estación de trabajo}} \times 100$$

minutos y estaría ociosa durante un minuto. Resulta prácticamente imposible asignar tareas a estaciones de trabajo de manera que cada una produzca un producto en exactamente cinco minutos. En el balanceo de líneas, nuestro objetivo es asignar tareas a las estaciones de trabajo para que resulte poco tiempo ocioso. Esto significa asignar tareas a estaciones y centros de trabajo de forma que se complete un producto terminado de manera muy cercana, pero sin exceder, el tiempo del ciclo.

Heurísticas para el balanceo de líneas Los investigadores han utilizado la programación lineal, la programación dinámica y otros modelos matemáticos para estudiar los problemas de balanceo de línea. Pero estos métodos están más allá del alcance de este libro y, por lo general, no son útiles para resolver problemas grandes. Los métodos heurísticos, es decir métodos basados en reglas simples, se han utilizado para desarrollar buenas soluciones a estos problemas, tal vez no las ópti-

mas, pero sí muy buenas soluciones. Entre estos métodos están la heurística de la utilización incremental (IU, por sus siglas en inglés) y la heurística del tiempo de la tarea más larga (LTT, por sus siglas en inglés).

La **heurística de la utilización incremental** simplemente va agregando tareas a una estación de trabajo según su orden de precedencia (una a la vez), hasta que se observa una utilización de 100% o ésta se reduce. Entonces se repite el procedimiento en la siguiente estación de trabajo con las tareas que quedan. La figura 8.3 ilustra los pasos de la heurística de la utilización incremental y el ejemplo 8.4 utiliza esta misma heurística para balancear una línea de producción que ensambla calculadoras de bolsillo. *La heurística de la utilización incremental es apropiada cuando uno o más tiempos de las tareas es igual o mayor que el tiempo del ciclo. Una ventaja importante de esta heurística es que es capaz de resolver problemas de balanceo de líneas independientemente de la duración de los tiempos de las tareas en relación con el tiempo del ciclo.* Bajo ciertas circunstancias, sin embargo, esta heurística crea la necesidad de herramientas y equipo adicional. Esta heurística es apropiada si el enfoque principal del análisis es minimizar la cantidad de estaciones de trabajo o si las herramientas y equipo utilizados en la líneas de producción son abundantes o poco costosas.

EJEMPLO 8.4

BALANCEO DE LÍNEA UTILIZANDO LA HEURÍSTICA DE LA UTILIZACIÓN INCREMENTAL

Textech, un gran fabricante electrónico, ensambla calculadoras de bolsillo modelo AT75 en su planta de Midlan, Texas. A continuación aparecen las tareas de ensamble que se deben realizar en cada una de las calculadoras. Los componentes utilizados en este ensamble son suministrados por personal de manejo de materiales en recipientes o cubos de componentes que se utilizan en cada tarea. Los ensambles se mueven a lo largo de la línea mediante transportadores de banda entre estaciones de trabajo. Textech desea que su línea de ensamble produzca 540 calculadoras por hora: **a.** Calcule el tiempo de ciclo por calculadora en minutos. **b.** Calcule la cantidad mínima de estaciones de trabajo. **c.** ¿De qué manera combinaría usted las tareas en estaciones de trabajo, para minimizar el tiempo ocioso? Evalúe su propuesta.

Tarea	Tareas de inmediato precedentes	Tiempo para efectuar la tarea (minutos)
A. Coloque el marco de circuito sobre el dispositivo		0.18
B. Coloque el circuito 1 sobre el bastidor	A	0.12
C. Coloque el circuito 2 sobre el bastidor	A	0.32
D. Coloque el circuito 3 sobre el bastidor	A	0.45
E. Fije los circuitos en el bastidor	B,C,D	0.51
F. Soldar las conexiones de circuito a control central de circuito	E	0.55
G. Coloque el ensamble de circuito en el bastidor interior de la calculadora	F	0.38
H. Fije el ensamble del circuito al bastidor interior de la calculadora	G	0.42
I. Coloque y fije el despliegue al bastidor interior	H	0.30
J. Coloque y fije el teclado al bastidor inferior	I	0.18
K. Coloque y fije el cuerpo superior de la calculadora al bastidor interior	J	0.36
L. Coloque y fije el ensamble de energía al bastidor interior	J	0.42
M. Coloque y fije el cuerpo superior de la calculadora al bastidor interior	K,L	0.48
N. Pruebe la integridad del circuito	M	0.30
O. Coloque la calculadora y material impreso en su caja	N	0.39
	Total	5.36

SOLUCIÓN

a. Calcule el tiempo de ciclo por calculadora:

$$\text{Tiempo del ciclo} = \frac{\text{Tiempo productivo/hora*}}{\text{Demanda/hora}} = \frac{\text{54 minutos/hora}}{\text{540 calculadoras/hora}} = \text{0.100 minuto/calculadora}$$

b. Calcule la cantidad mínima de estaciones de trabajo:

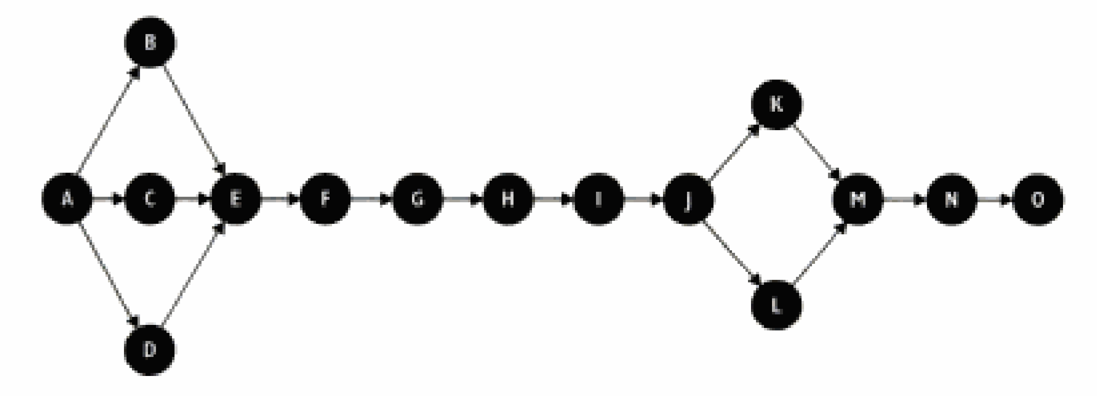
$$\frac{\text{Número mínimo de}}{\text{estaciones de trabajo}} \; = \frac{\text{Suma de los tiempos de tareas} \times \text{Demanda por hora}}{\text{Tiempo productivo por hora}}$$

$$= \frac{\text{5.36 minutos/calculadora} \times \text{540 calculadoras/hora}}{\text{54 minutos/hora}}$$

$$= \text{53.60 estaciones de trabajo}$$

c. Balancee la línea:

1. Primero, dibuje un diagrama de precedencias para la línea de producción. Esta línea utiliza círculos como tareas y flechas para mostrar las relaciones de precedencia.



2. A continuación, asigne tareas a los centros de trabajo. Esto se efectúa siguiendo estrictamente la secuencia de las tareas (D debe seguir a A, G de seguir a F, y así sucesivamente) y para agrupar las tareas de trabajo se utiliza la heurística de la utilización incremental. En este método, las tareas se combinan en secuencia hasta que la utilización incremental haya llegado a 100% o hasta que se reduce la utilización del centro de trabajo, y entonces se inicia un nuevo centro de trabajo. Vea el centro de trabajo 1 y observe que primero consideramos la tarea A sola [(1.8 ÷ 2.0) × 100 = 90%]; a continuación consideramos las tareas A y B juntas [(3.0 ÷ 3.0) × 100 = 100%]. Dado que esta combinación tiene una utilización de 100%, las tareas A y B se combinan en el centro de trabajo 1 y ahora nos pasamos al centro de trabajo 2. En el centro de trabajo 2, conforme se combinan las tareas C, D y E, una tarea a la vez, la utilización del centro de trabajo se incrementa de 80 a 96.3% y a 98.5%; pero al añadir la tarea F a la C, D y E, la utilización cae a 96.3%. El centro de trabajo 2 por lo tanto incluye las tareas C, D y E y pasamos al centro de trabajo 3.

(1) Centro de trabajo	(2) Tareas	(3) Minutos/Calculadora	(4) Cantidad de estaciones de trabajo funcionando [(3) ÷ tiempo del ciclo]	(5) Cantidad real de estaciones de trabajo requeridas	(6) Utilización de las estaciones de trabajo [(4) ÷ (5)] × 100
1	A	.18	1.8	2	90.0%
	A,B	.18 + .12 = .30	3.0	3	100.0

(1) Centro de trabajo	(2) Tareas	(3) Minutos/calculadora	(4) Cantidad de estaciones de trabajo funcionando [(3) ÷ tiempo del ciclo]	(5) Cantidad real de estaciones de trabajo requeridas	(6) Utilización de las estaciones de trabajo [(4) ÷ (5)] × 100
~~2~~	~~C~~	~~.32~~	~~3.2~~	~~4~~	~~80.0~~
~~2~~	~~C,D~~	~~.32 + .45 = .77~~	~~7.7~~	~~8~~	~~96.3~~
2	C,D,E	.32 + .45 + .51 = 1.28	12.8	13	98.5
~~2~~	~~C,D,E,F~~	~~.32 + .45 + .51 + .55 = 1.83~~	~~18.3~~	~~19~~	~~96.3~~
~~3~~	~~F~~	~~.55~~	~~5.5~~	~~6~~	~~91.7~~
~~3~~	~~F,G~~	~~.55 + .38 = .93~~	~~9.3~~	~~10~~	~~93.0~~
~~3~~	~~F,G,H~~	~~.55 + .38 + .42 = 1.35~~	~~13.5~~	~~14~~	~~96.4~~
3	F,G,H,I	.55 + .38 + .42 + .30 = 1.65	16.5	17	97.0
~~3~~	~~F,G,H,I,J~~	~~.55 + .38 + .42 + .30 + .18 = 1.83~~	~~18.3~~	~~19~~	~~96.3~~
~~4~~	~~J~~	~~.18~~	~~1.8~~	~~2~~	~~90.0~~
~~4~~	~~J,K~~	~~.18 + .36 = .54~~	~~5.4~~	~~6~~	~~90.0~~
~~4~~	~~J,K,L~~	~~.18 + .36 + .42 = .96~~	~~9.6~~	~~10~~	~~96.0~~
~~4~~	~~J,K,L,M~~	~~.18 + .36 + .42 + .48 = 1.44~~	~~14.4~~	~~15~~	~~96.0~~
~~4~~	~~J,K,L,M,N~~	~~.18 + .36 + .42 + .48 + .30 = 1.74~~	~~17.4~~	~~18~~	~~96.7~~
4	J,K,L,M,N,O	.18 + .36 + .42 + .48 + .30 + .39 = 2.13	21.3	22	96.8
			Total	55	

3. Resuma la asignación de las tareas de las estaciones de trabajo en la línea de producción:

Tareas en los centros de trabajo	A,B	C,D,E	F,G,H,I	J,K,L,M,N,O	
Centros de trabajo	→ ①	→ ②	→ ③	→ ④	
Cantidad real de estaciones de trabajo	3.0	13.0	17.0	22.0	55.0 Total

4. A continuación, calcule la eficiencia de su propuesta:

$$\text{Utilización} = \frac{\text{Cantidad mínima de estaciones de trabajo}}{\text{Cantidad real de estaciones de trabajo}} = \frac{53.6}{55} = 0.975, \text{ o } 97.5 \text{ por ciento}$$

*Un promedio de seis minutos por hora de este ejemplo no resulta productivo debido al tiempo para almuerzo, tiempo personal, descompostura de máquinas, tiempo de arranque y tiempo de parada.

TABLA 8.7 **PASOS PARA LA HEURÍSTICA DEL TIEMPO DE TAREA MÁS LARGO**

1. Supongamos que i = 1 donde i es el número de la estación que se está formando.
2. Haga una lista de todas las tareas que son candidatas a ser asignadas a esta estación de trabajo. Para que una tarea quede en esta lista, deberá satisfacer todas estas condiciones:
   a. No puede haber sido asignada previamente a ésta o a ninguna estación de trabajo anterior.
   b. Sus predecesores inmediatos deben haber sido ya asignados a ésta o a una estación de trabajo anterior
   c. La suma de su tiempo de tarea y de todos otros tiempos de las tareas ya asignadas a la estación de trabajo debe ser inferior que o igual al tiempo del ciclo. Si no encuentra candidata, pase al paso 4.
3. Asigne la tarea de la lista con el tiempo de tarea más largo a la estación de trabajo.
4. Cierre la asignación de tareas en estación de trabajo i. Esto puede ocurrir de dos formas. Si no existen tareas en las listas de candidatas para la estación de trabajo, pero todavía quedan tareas para asignarse, haga que i = i + 1 y regrese al paso 2. En el caso que no haya más tareas por asignar, el procedimiento ha terminado.

La **heurística del tiempo de tarea más largo** agrega una tarea a la vez a una estación de trabajo, en el orden de precedencia de las tareas. Si debe elegirse entre dos o más tareas, se agregará aquella que tenga el tiempo de tarea más largo. Esto tiene el efecto de asignar muy rápidamente las tareas más difíciles de ajustar dentro de una estación. Las tareas con tiempos más cortos se guardan para afinar la solución. Esta heurística sigue los pasos de la tabla 8.7 y el ejemplo 8.5 lo utiliza para balancear una línea de producción.

EJEMPLO 8.5

BALANCEO DE LÍNEA UTILIZANDO LA HEURÍSTICA DEL TIEMPO DE TAREA MÁS LARGO

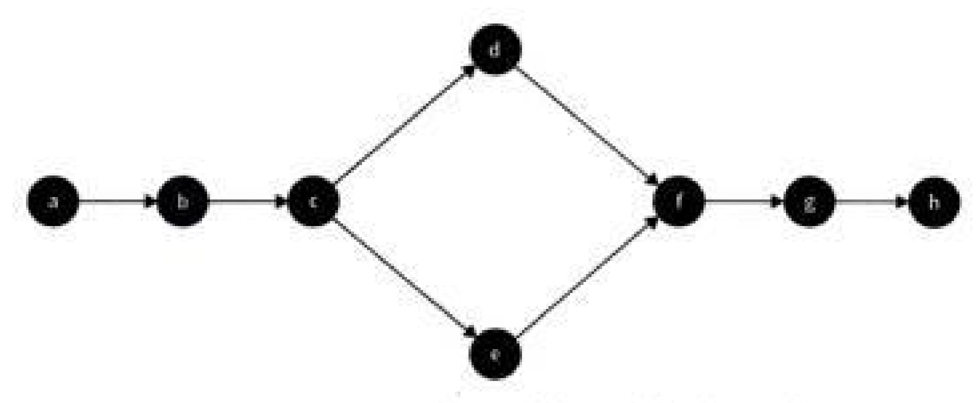
Tarea	Procesador inmediato	Tiempo de tarea (minutos)
a	—	0.9
b	a	0.4
c	b	0.6
d	c	0.2
e	c	0.3
f	d,e	0.4
g	f	0.7
h	g	1.1
	Total	4.6

Utilizando la información de la tabla arriba citada:

a. Dibuje un diagrama de precedencia.
b. Suponiendo que de cada hora, 55 minutos son productivos, calcule el tiempo del ciclo necesario para obtener 50 unidades por hora.
c. Determine la cantidad mínima de estaciones de trabajo.
d. Asigne tareas a las estaciones de trabajo, utilizando la heurística del tiempo de tarea más largo.
e. Calcule la utilización de la solución del inciso d.

SOLUCIÓN

a. Dibuje el diagrama de precedencia:



b. Suponiendo que 55 minutos por hora son productivos, calcule el tiempo de ciclo necesario para obtener 50 unidades por hora:

$$\text{Tiempo de ciclo} = \frac{\text{Tiempo productivo por hora}}{\text{Demanda por hora}} = \frac{\text{55 minutos por hora}}{\text{50 productos por hora}}$$

$$= \text{1.1 minutos por producto}$$

c. Determine la cantidad mínima de estaciones de trabajo:

$$\text{Cantidad mínima de estaciones de trabajo} = \frac{\text{Suma de todos los tiempos de tarea} \times \text{Demanda por hora}}{\text{Tiempo productivo por hora}}$$

$$= \frac{\text{4.6 minutos/producto} \times \text{50 productos/hora}}{\text{55 minutos/hora}}$$

$$= \text{4.2 estaciones de trabajo}$$

d. Asigne tareas a las estaciones de trabajo utilizando la heurística del tiempo de tarea más largo:

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
		Tarea asignada		Suma de los	Tiempos de tarea sin asignar en la
Estación de trabajo	Lista de candidatos	Tarea	Tiempo de la tarea	tiempos de tareas	estación de trabajo [1.1 − (5)]
1	a	a	0.9	0.9	0.2
2	b	b	0.4	0.4	0.7
2	c	c	0.6	1.0	0.1
3	d,e*	e	0.3	0.3	0.8
3	d	d	0.2	0.5	0.6
3	f	f	0.4	0.9	0.2
4	g	g	0.7	0.7	0.4
5	h	h	1.1	1.1	0

*La tarea e se refiere a la tarea d, pues su tiempo de trabajo es más largo.

Resuma la asignación de las tareas para las estaciones de trabajo en la línea de producción.

Tareas en las estaciones de trabajo	Estación de trabajo
a	1
b,c	2
e,d,f	3
g	4
h	5

e. Calcule la utilización de la solución del inciso d:

$$\text{Utilización} = \frac{\text{Cantidad mínima de estaciones de trabajo}}{\text{Cantidad real de estaciones de trabajo}} \times 100$$

$$= \frac{4.2}{5} \times 100$$

$$= 84\%$$

Las condiciones para el uso de la heurística del tiempo de tarea más largo son:

1. Sólo se puede utilizar cuando todos y cada uno de los tiempos de las tareas son inferiores o iguales al tiempo del ciclo.
2. No puede haber estaciones de trabajo duplicadas.

Dado que no hay estaciones de trabajo duplicadas, la cantidad de herramientas y equipo requerido es bajo. Esta restricción, sin embargo, disminuye la flexibilidad. *Si todos y cada uno de los tiempos de tareas es inferior o igual al tiempo del ciclo y si el enfoque principal del análisis de las líneas de producción es minimizar la cantidad de estaciones de trabajo y de herramientas y equipo requeridos, entonces esta heurística es apropiada.* Afortunadamente, existen modificaciones a la heurística que permiten que el tiempo de las tareas sea mayor al tiempo del ciclo. Por ejemplo, *POM Computer Library* permite el uso de una heurística modificada del tiempo de tarea más largo que acepta que los tiempos de las tareas sean hasta el doble del tiempo del ciclo.

Las dos heurísticas de balanceo de línea analizadas aquí representan a un grupo grande de este tipo de heurísticas. Por lo que, ¿cuál sería la que usted debería utilizar al analizar un problema particular de balanceo de línea? En algunas circunstancias, quizá no tenga elección, porque sólo una de las heurísticas puede aceptar las condiciones que se ajusten a su problema de balanceo de línea. Por ejemplo, si uno o más tiempos de las tareas son iguales o superiores al tiempo del ciclo, tendrá que escoger la heurística de la utilización incremental. En otras ocasiones, si el uso de más de una heurística resulta apropiada, se aconsejaría que usara varias heurísticas de balanceo de línea en un mismo problema, para determinar la mejor solución.

Tópicos del balanceo de líneas. En años anteriores, las líneas de producción se diseñaban de manera que las bandas transportadoras eran las que determinaban el ritmo de la velocidad del trabajo de los empleados. La investigación y el sentido común han demostrado que a los trabajadores no les gustan estos arreglos. Tienden a ser más irritables, se ausentan más a menudo del trabajo, producen productos de calidad inferior y tienen una peor salud, tanto dentro como fuera del puesto de trabajo. Hoy, pocas empresas con conocimiento de causa colocan a los trabajadores bajo el control de las máquinas; son éstos quienes deben tener el control.

Los problemas de balanceo de líneas de esta sección suministraron la demanda del mercado o la tasa de producción como una cifra dada. Si se conoce la tasa de producción, es posible calcular el tiempo del ciclo y este valor es el que impulsa la heurística del balanceo de línea que determina la cantidad de estaciones de trabajo que se requieren. Esto no siempre es la característica de los problemas reales en la industria. Algunas veces, el valor que está dado es la cantidad de estaciones de trabajo y de ahí se deduce el tiempo del ciclo. Una forma de hacer esto sería probando varios valores de tiempo del ciclo con una de las heurísticas de balanceo de línea, hasta que la cantidad de estaciones de trabajo de la solución coincida con la cantidad de estaciones deseadas. Otras veces, se utiliza un rango de valores para el tiempo del ciclo para orientar la búsqueda de una solución de balanceo de línea que minimice el tiempo ocioso.

La variación del tiempo de ciclo puede tener resultados importantes en el balanceo de la línea. Un tiempo de ciclo más largo que equivale a una tasa de producción inferior puede resultar en menos estaciones de trabajo y menos herramental y maquinaria, lo que puede llevar a costos menores de producción. Esta táctica pudiera requerir inventarios más grandes de productos terminados de los cuales se puede surtir durante la temporada de demanda pico. Un tiempo del ciclo más breve —que es lo mismo que una tasa de producción más elevada— podría llevar a menos tiempo ocioso y a costos inferiores de producción, por lo que lo aconsejable es experimentar, utilizando duraciones diferentes del tiempo del ciclo, de manera que resulte en costos bajos de producción y menos inversiones en capitales en máquinas y herramientas.

Los cambios en la demanda del producto, las modificaciones en las máquinas, las variaciones en aprendizaje y capacitación de empleados y otras modificaciones, pueden hacer que se desbalanceen las líneas de producción o que tengan capacidad insuficiente o en exceso. En todos estos casos, las líneas de producción tienen que volver a balancearse. El **rebalanceo de una línea de producción** es una actividad común en la industria, dado que el cambio es una realidad. La mayoría de las líneas de producción se rebalancean varias veces al año. Este rebalanceo significa que va haber una cierta molestia en la producción, ya que se afectan las disposiciones físicas y los puestos de los trabajadores, pero de continuar operando una línea de operación fuera de fecha o fuera de equilibrio, con una capacidad incorrecta, puede causar costos elevados de producción, mal servicio al cliente y exceso de inventarios.

Balanceo de línea de modelos mixtos Hasta ahora en nuestro estudio de las disposiciones físicas para productos, hemos supuesto que cada línea de producción sólo produce un modelo de producto. Si en la misma línea de producción debe fabricarse más de un modelo, se presentan las siguientes interrogantes:

1. ¿Qué cantidad de cada modelo de producto deberemos hacer cuando se inicia su producción (cuál será el tamaño de la corrida de producción)?
2. ¿En qué secuencia deberán colocarse las corridas de producción?

Si las corridas de producción son demasiado grandes, los modelos entrarán en producción con poca frecuencia, los inventarios en proceso serán demasiado elevados y el inventario de los demás modelos se podría agotar antes de que pudieran empezar a producirse. Si las corridas de producción son demasiado pequeñas, la agitación de los muchos cambios de modelos puede hacer que se eleven los costos de manufactura.

Algunas empresas dividen el número de cada modelo de productos incluido en el plan mensual de producción entre los días laborables del mes y da la cantidad promedio de cada modelo a producir todos los días. Esta cifra se divide después varias veces durante el día y se pone en secuencia con los demás modelos. Como ilustración, supongamos que necesitamos producir 300 modelos A y 200 B diariamente, y que el tiempo del ciclo para A es de 45 segundos, en tanto que para el B es de 65 segundos. Si se descartan los cambios de máquinas, a continuación aparece un esquema de equilibrio de modelos mixtos para esta ilustración:

Secuencia de modelo	20 B		30 A
Tiempo de producción (minutos)	21.67		22.50
Tiempo de secuencia (minutos)		44.17	
Secuencias por turno de ocho horas		10	
Tiempo de corrida de la línea de ensamble por turno (minutos)		441.7	
Tiempo perdido en la línea de ensamble por turno (minutos)		38.3	

En este esquema, a 20 modelos B les seguirían 30 modelos A y la secuencia se repetiría cada siete minutos, durante 10 veces en un turno de ocho horas. La línea de ensamble trabajaría 44.17 minutos en ocho horas, dejando 38.3 minutos para mantenimiento, tiempos libres para el empleado y otros fines. Al proporcionar 10 secuencias de 20 modelos B y de 30 modelos A en cada turno de ocho horas, los empleados tienen variedad en su trabajo al cambiar de modelo. Además, puesto que las corridas de producción de cada modelo son relativamente pequeñas, no habrá un inventario excesivo de cada uno de ellos.

Planeación de las disposiciones físicas para manufactura celular Como se vio anteriormente en este capítulo, el problema inicial que debe resolverse en las disposiciones físicas para MC es la decisión de formulación de celda: ¿Qué máquinas se asignan a las celdas de manufactura? ¿Qué componentes se producirán en cada una de las celdas? Si las ventajas que se declararon en el capítulo 4 para la manufactura celular tienen que convertirse en realidad, esta decisión inicial es vital. El ejemplo 8.6 ilustra los elementos esenciales de este tipo de decisión.

EJEMPLO 8.6

DECISIONES DE FORMACIÓN DE CELDAS PARA DISPOSICIONES FÍSICAS EN MANUFACTURA CELULAR

Acme Machine Shop produce partes maquinadas en un taller de tareas. Acme ha puesto en práctica recientemente en su taller un programa de tecnología de grupos (TG) y ahora está listo para desarrollar celdas de manufactura en el piso del taller. Los analistas de producción han identificado cinco componentes que parecen llenar los requisitos apropiados para MC: lotes de tamaño moderado, demanda estable y características físicas comunes. La matriz piezas-máquinas que aparece a continuación identi-

fica los cinco componentes (1 a 5) y las máquinas (A a E) en las cuales estos componentes actualmente fabrican en el taller de tareas. Las X en el cuerpo de la matriz indican las máquinas en las que se fabrican los componentes. Por ejemplo, el componente 1 requiere de operaciones de máquina A y D.

Componentes

Máquinas	1	2	3	4	5
A	X		X		X
B		X		X	X
C		X		X	X
D	X		X		
E		X		X	X

Acme desea asignar las máquinas (así como los componentes que fabrican estas máquinas) a celdas, de manera que si se asigna un componente a una celda, todas las máquinas requeridas para hacer dicho componente aparecen en la misma celda. Por ejemplo, si el componente 1 se asigna a una celda, las máquinas A y D también deben quedar asignadas a esas celdas. Arregle máquinas y componentes en celdas.

SOLUCIÓN

1. **Reorganice las hileras.** Primero, coloque las máquinas que producen una misma pieza en hileras adyacentes. Observe que para la fabricación de los componentes 1 y 3 se requieren las máquinas A y D y coloque estas dos máquinas en las dos primeras hileras. También observe que las máquinas B, C y E son necesarias para los componentes 2, 4 y 5. Ponga estas tres máquinas en las siguientes tres hileras.

Componentes

Máquinas	1	2	3	4	5
A	X		X		X
D	X		X		
B		X		X	X
C		X		X	X
E		X		X	X

2. **Reorganice las columnas.** Acto seguido reorganice las columnas de manera que queden en columnas adyacentes los componentes que requieren las mismas máquinas. Observe que las columnas 1 y 3 requieren las máquinas A y D. Coloque estos dos componentes en las primeras dos columnas. También observe que las partes 2, 4 y 5 requieren de las máquinas B, C y E. Coloque estos tres componentes en las siguientes tres columnas.

Componentes

Máquinas		1	3	2	4	5*
	A	X	X			X
	D	X	X			
	B			X	X	X
	C			X	X	X
	E			X	X	X

Esta matriz componentes-máquinas contiene la solución al problema de formación de celdas. Los componentes 1 y 3 deben producirse en la celda 1 en las máquinas A y D. Las partes 2 y 4 deben producirse en la celda 2 en las máquinas B, C y E. La parte o componente 5* se conoce como una **parte excepcional,** porque no puede producirse en una sola celda: requiere de la máquina A que forma parte de la celda 1, y de las máquinas B, C y E, que están en la celda 2.

Existen dos requisitos fundamentales para que los componentes se fabriquen en celdas:

1. La demanda de componentes debe ser suficientemente elevado y estable para que periódicamente se puedan producir lotes de tamaño moderado de componentes.
2. Los componentes que se consideren deben poder agruparse en familias de componentes. Dentro de una familia de componentes, las familias deben poseer características físicas similares y, por lo tanto, requerir operaciones de producción similares.

En el ejemplo 8.6 suponemos que se han estudiado a detalle los cinco componentes, de manera que la naturaleza de su demanda llena el primer requisito arriba citado. También, se supone que los componentes que se han escogido son tales que se requieren operaciones de producción similares. El requisito de necesitar las mismas máquinas es quizás la indicación más poderosa que las piezas requieren de operaciones de producción similares.

La solución del ejemplo 8.6 resultaría en cuatro de los componentes y en cinco de las máquinas asignados a dos celdas. Uno de los componentes, el 5, es una pieza excepcional, lo que significa que no es posible fabricarla totalmente dentro de una sola celda. Las alternativas para la producción de esta pieza son:

1. **Producir la pieza 5 transportando lotes de la misma entre las dos celdas.** La ventaja de esta alternativa sería que se elevaría el porcentaje de utilización de las máquinas (porcentaje del tiempo que operan las máquinas) dentro de las celdas. Las desventajas de esta alternativa son el costo adicional por manejo de materiales y la complejidad adicional en la coordinación de la programación de la producción entre celdas.
2. **Subcontratar la producción de la pieza 5 a proveedores externos.** La ventaja de esta alternativa es que evita el costo adicional por manejo de materiales y la complejidad de programación causada por el transporte de lotes de la pieza entre celdas. La desventaja es que esta subcontratación puede costar más que fabricar la pieza en la fábrica.
3. **Producir la pieza 5 en el taller de tareas, fuera de las celdas MC.** La ventaja de esta alternativa es que evita el costo adicional de manejo de materiales y la complejidad de programación causada por el transporte de lotes de la pieza entre celdas y cualquier otro costo adicional por su contratación. La desventaja principal de esta alternativa es que las máquinas en las que se fabrica la parte 5 (A, B, C y E) ya están utilizándose en las cel-

das de la disposición física para MC. Si la parte 5 debe regresarse al taller de tareas para su producción, quizás tengan que adquirirse máquinas adicionales.

4. **Adquirir una máquina A adicional para producir el componente 5 en la segunda celda.** Esta alternativa asignaría a las máquinas A y D y las piezas 1 y 2 y las máquinas A, B, C y E y los componentes 3, 4 y 5 a la segunda. La ventaja de esta alternativa es que se evita el costo adicional de manejo de materiales y de complejidad en la programación por la transportación de los lotes del componente 5 entre celdas. La desventaja es el costo adicional por la adquisición de otra máquina A.

La decisión de formación de celdas analizada en el ejemplo 8.6 no es muy compleja, pero muchos problemas reales de la industria se resuelven de una manera muy similar al de este ejemplo. Por ejemplo, el Defense Systems Division of Texas Instruments Dallas, Texas, tiene varias celdas en su taller de maquinado, formadas de una manera muy similar a las del ejemplo 8.6. En situaciones más complejas deben resolverse problemas como los siguientes:

1. Si todas las piezas no pueden dividirse exactamente entre celdas y debemos elegir de entre varias piezas las que se van a convertir en piezas excepcionales, ¿de qué manera lo haremos? En la práctica, las elegidas serán aquellas que tengan el menor costo adicional de contratación externa o el menor costo adicional de producción en el taller artesanal.
2. Si para producir todas las piezas en las celdas hay disponible una capacidad de producción inadecuada, ¿qué piezas deberán fabricarse fuera de las celdas? En general, las elegidas para quedarse dentro de las celdas son aquellas que requieren de menor capacidad y que posean el mayor costo adicional, ya sea para subcontratar o para fabricarse en el taller de tareas.

Hemos analizado varias técnicas para el desarrollo de disposiciones físicas para operaciones de manufactura. Veamos ahora cómo nos enfrentamos a disposiciones físicas para operaciones de servicio.

Disposiciones físicas para instalaciones de servicio

En el capítulo 2, Estrategia de las operaciones, y en el capítulo 4, Diseño y desarrollo de productos y de procesos de producción, analizamos las características de los servicios y de los procesos utilizados para producirlos. Estos análisis se resumen en tres puntos:

1. Quizás la característica más distintiva de los servicios es su diversidad.
2. Existen tres dimensiones en el tipo de servicio: diseño estándar o según pedido, cantidad de contacto con el cliente y mezcla de bienes con servicios intangibles.
3. Existen tres tipos de operaciones de servicio: cuasimanufactura, el cliente como participante y el cliente como producto.

La comprensión de estos tres puntos nos prepara para un análisis de los tipos de disposiciones físicas para las instalaciones de servicio.

Tipos de disposiciones físicas para instalaciones de servicio

Pensemos en la naturaleza del servicio y de la forma en que estos negocios entregan o transfieren sus servicios: aerolíneas, bancos, minoristas, hospitales, restaurantes, seguros, bienes raíces, autotransportes, teléfonos y servicios públicos. Dado que existe tal diversidad entre estos servicios, también hay la tendencia a la diversidad en los tipos de disposiciones físicas para sus instalaciones.

Para la mayoría de las empresas de servicio, es característico que por lo menos parte de sus operaciones sea distinta a la generalidad de las operaciones de manufactura: debe tomarse en consideración el encuentro entre cliente y servicio. Este encuentro puede ser intenso, porque el cliente de hecho forme parte del proceso de producción, como en el caso de los hospitales, donde

el servicio realmente se ejecuta en el cliente. O el servicio puede ser menos intenso, como en la venta al menudeo, donde los clientes escogen, pagan y se llevan bienes físicos. Pero independientemente de la naturaleza y de la intensidad de este encuentro, las disposiciones físicas de las instalaciones de servicio están drásticamente afectadas.

Las disposiciones físicas de las instalaciones de servicio generalmente deben proporcionar un fácil acceso a las mismas desde las carreteras o calles con mucha circulación. Típicamente se incluyen áreas de estacionamiento o garajes grandes, bien organizadas e iluminadas. Adicionalmente, por lo general estas instalaciones tienen amplios y bien diseñados pasillos para que las personas vayan desde y hacia las áreas de estacionamiento. Las entradas y las salidas están identificadas, fácilmente ubicadas, y diseñadas para aceptar gran cantidad de clientes durante las horas pico. A menudo se provee de puertas y escaleras eléctricas para reducir el esfuerzo físico cuando deben transportarse mercancías a brazos llenos. Deben incluirse vestíbulos y otras áreas de recepción o mantenimiento para clientes, colas de espera, mostradores de servicio, cajas registradoras, estaciones de trabajo de los empleados, exhibidores de mercancía, pasillos y una decoración e iluminación atractiva.

El grado al cual las instalaciones de servicio deben proporcionar estas características de instalación relacionada con los clientes varía directamente del nivel de participación y contacto del cliente inherentes al servicio. En un extremo están las operaciones de mostrador en un banco, donde toda la disposición física de la instalación debe diseñarse alrededor de los clientes: estacionamiento, entradas y salidas cómodas, áreas de espera convenientes y amables, líneas o colas de espera para un servicio estándar a los clientes, ventanillas y cajeros y áreas individualizadas para servicios a cuentas de ahorro y préstamos. En el otro extremo están las operaciones de trastienda del banco, donde la disposición física de la instalación debe diseñarse únicamente para actividades de procesamiento de transacciones financieras, de actualización de registros de cuentas y de generación de informes y declaraciones, donde el enfoque central está en tecnología o procesamiento y en la eficiencia de producción de materiales físicos. Esta es una operación de servicio de cuasimanufactura.

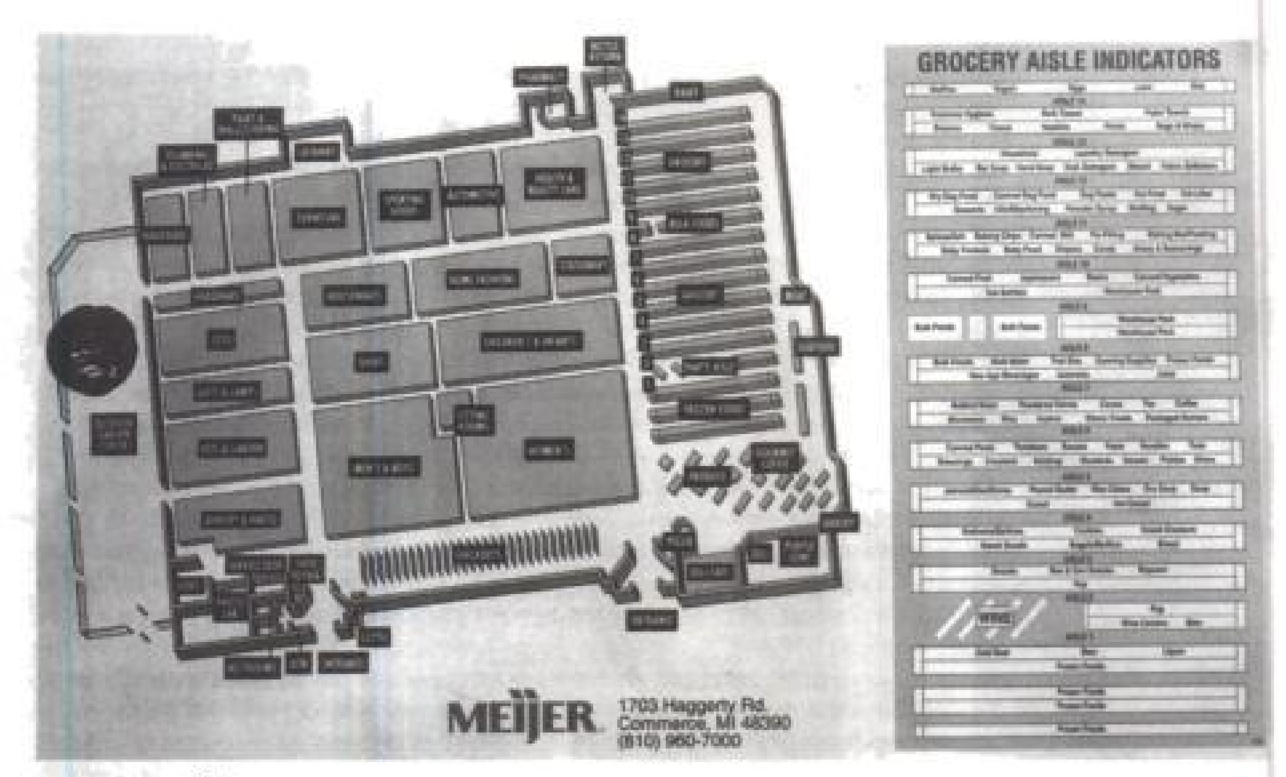
Estos dos extremos en las disposiciones físicas para las instalaciones de servicio están cerca a los extremos de un continuo. Otras instalaciones de servicio mezclan las características existentes en estos dos extremos. Las instalaciones físicas de restaurantes exclusivos, por ejemplo, típicamente hacen énfasis en la recepción y servicio individualizado de los clientes, quizás más que en el procesamiento y preparación de los productos alimenticios. Por otra parte, las disposiciones físicas de los restaurantes de comida rápida tiene tendencia a enfatizar el procesamiento y preparación de alimentos, en vez de la recepción y servicio individual a consumidores. La mezcla de énfasis en el cliente o en tecnología, en el procesamiento físico de los materiales, y los énfasis en la eficiencia de la producción varían según el tipo de servicio ofrecido y de las estrategias de operación de cada organización en particular.

ANÁLISIS DE LAS DISPOSICIONES FÍSICAS PARA INSTALACIONES DE SERVICIO

Para muchas instalaciones de servicio, son de aplicación directa las técnicas de la disposición física para instalaciones de manufactura que hemos estudiado en este capítulo. Para servicios del tipo de cuasimanufactura como los restaurantes de comida rápida, las operaciones de trastienda de los bancos, las operaciones de mantenimiento de las aerolíneas, las operaciones de almacenamiento de los detallistas y las instalaciones de generación eléctrica, estos temas anteriormente analizados son de importancia particular:

- Los principios de manejo de materiales y de equipo de manejo de materiales para todos los tipos de servicios donde el manejo de los bienes físicos es significativo.
- El uso de plantillas y de modelos físicos para desarrollar planos de plantas de edificios para todo tipo de servicios.
- El análisis de secuencia de las operaciones, del análisis carga-distancia y del análisis con computadora de las disposiciones físicas para operaciones de servicio con producción enfocada al proceso.
- El uso del balanceo de líneas para operaciones de servicio con producciones enfocadas al producto.

Un elemento importante en la disposición física de la instalación para muchos servicios de todo tipo, es incluir líneas de espera para clientes. De importancia particular es el espacio que se requiere para mostradores de servicio y para clientes que aguardan y establecer líneas de espera en



Las disposiciones físicas para instalaciones de servicio, como la que se muestra aquí para Meijer, deben tomar en consideración al cliente y la forma en que éste utiliza el servicio. Por ejemplo, a menudo los alimentos congelados y otros perecederos se colocan en los pasillos exteriores, de manera que sean lo último que el cliente adquiera y estén más cerca a las cajas.

las instalaciones físicas generales de la instalación. Estos problemas son vitales para las disposiciones físicas de las instalaciones de servicio y los estudiaremos, así como otros relacionados con la línea de espera, en el capítulo 13, Planeación y programación de operaciones de servicio.

Para muchas otras operaciones de servicio, las disposiciones físicas de las instalaciones son muy parecidas a las disposiciones físicas para procesos de manufactura, porque deben permitir que los clientes sigan una diversidad de trayectorias a través de las instalaciones. Las disposiciones físicas de los hospitales, por ejemplo, típicamente permiten gran diversidad en las etapas que siguen los pacientes: cirugía, radiología, pruebas de laboratorio, terapia física, cuidados intensivos, consultorios médicos, farmacia, urgencias, cuartos y administración. Los departamentos de los hospitales están agrupados y localizados de acuerdo con sus procesos, de manera similar a la forma en que un taller de maquinado por pedido colocaría sus máquinas e instalaciones de trabajo. Antes en este capítulo, en los ejemplos 8.1 y 8.2, utilizamos el análisis de la secuencia de las operaciones y el análisis de diagrama de bloques para desarrollar buenas disposiciones físicas para procesos en manufactura. Comúnmente este procedimiento intenta minimizar:

- La distancia total recorrida mensualmente por los productos entre los departamentos.
- El costo mensual del manejo de los materiales a través de los departamentos.

En muchos servicios, las razones para tener los departamentos cerca entre sí son más complejas y a menudo las motivaciones son a la vez objetivas y subjetivas. En un hospital, por ejemplo, desearíamos tener a radiología cerca de urgencias, para un rápido diagnóstico, y nos gustaría que la farmacia estuviera cerca de las habitaciones de los pacientes, para una prescripción rápida de medicamentos. De manera similar, el uso del mismo equipo o personal, la facilidad de comunicación, el movimiento lógico de los clientes, la velocidad, seguridad, contaminación y otros factores, pudieran ser razones legítimas para que los departamentos estuvieran cerca o lejos unos de otros. En estos casos, se utilizan **calificaciones de cercanía** para reflejar la deseabilidad de tener un departamento cerca de otro. Los métodos de ensayo y error, el análisis de secuencia de las operaciones o el análisis de diagrama de bloques podrían utilizar las calificaciones de cercanía para desarrollar buenas disposiciones físicas de las instalaciones. En el uso de estos procedimientos, se pueden establecer varios objetivos: minimizar la suma de pares de calificaciones de cercanía, minimizar la distancia total entre departamentos ponderada en función a la inversa de las calificaciones de cercanía, y así sucesivamente.

TABLA 8.8 **PROCEDIMIENTO PARA EL USO DE LAS CALIFICACIONES DE CERCANÍA**

1. m = 1 y n = 6.
2. Identifique pares de departamentos con calificaciones de cercanía de m.
3. Desarrolle una disposición física de prueba con los pares de departamentos identificados en el paso 1 adyacentes uno al otro.
4. Identifique pares de departamentos con calificaciones de cercanía de n.
5. Ajuste los pares de departamentos identificados en el paso 4 en la disposición física de prueba correspondiente al paso 3.
6. Examine la disposición física de prueba del paso 5. Si se viola cualquier calificación de cercanía de pares de departamentos, reorganice los departamentos para cumplir con todas las calificaciones de cercanía.
7. ¿Es m = 3 y n = 4? En caso de ser así, vaya al paso 8. De no ser así, m = m + 1 y n = n − 1, vaya al paso 2.
8. Salga.

El ejemplo 8.7 ilustra el uso de calificaciones de cercanía para desarrollar la disposición física de una instalación. El método que se emplea en este ejemplo se explica en la tabla 8.8.

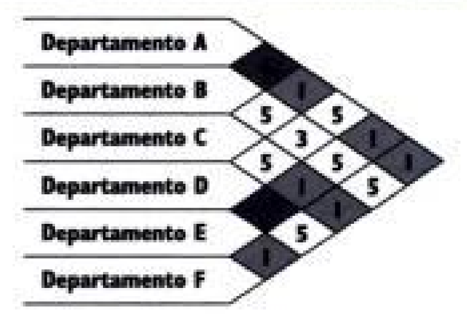
EJEMPLO 8.7

USO DE LAS CALIFICACIONES DE CERCANÍA PARA DESARROLLAR DISPOSICIONES FÍSICAS PARA INSTALACIONES DE SERVICIO

Estas calificaciones de cercanía se utilizan con la finalidad de indicar la deseabilidad de tener departamentos cercanos entre sí.

Calificación de cercanía	Significado de la calificación
1	Necesario
2	Muy importante
3	Importante
4	Ligeramente importante
5	Sin importancia
6	No deseable

A continuación aparecen seis departamentos y sus calificaciones de cercanía. La calificación de cercanía entre un par de departamentos se encuentra en las intersecciones de la rejilla que se muestra abajo.



Utilice el método que aparece en la tabla 8.8 para hacer la disposición física de los seis departamentos en un edificio rectangular de dos departamentos de profundidad y tres de anchura.

SOLUCIÓN

Primero, note que los pares de departamentos con calificaciones de cercanía de 1 (necesario) son: A-C, A-E, A-F, C-E, C-F y E-F. A debe estar en contacto con C, E y F; C debe estar en contacto con

E y con F y E debe estar en contacto con F. Como primer ensayo, intente una disposición física con A, C, E y F en contacto entre sí. La disposición física que se muestra a continuación satisface todos los pares de departamentos con calificaciones de cercanía de 1.

A	C	
E	F	

A continuación, observe que los pares de departamentos con calificaciones de cercanía de 6 (no deseable) son A-B y D-E. A no debe estar en contacto con B, y D no debe estar en contacto con E. Al colocar los departamentos D y E en los dos espacios que quedan, la disposición física que aparece abajo satisface todos los pares de departamentos con calificaciones de cercanía iguales a 6.

A	C	B
E	F	D

Observe que en este último paso, la satisfacción de las calificaciones de cercanía de 6 también satisfizo de manera simultánea a las calificaciones de cercanía de 1. Los problemas no siempre serán así de sencillos y podrían requerirse algunos pasos adicionales de jugar con departamentos para ver si se pueden efectuar mejoras.

RECOPILACIÓN:

LO QUE HACEN LOS PRODUCTORES DE CLASE MUNDIAL

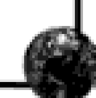
La disposición física de las instalaciones afecta de manera importante el desempeño de los sistemas de producción. Los productores de clase mundial realizan grandes esfuerzos en el desarrollo de disposiciones físicas diseñadas para lograr las prioridades competitivas de los productos incluidos en sus planes empresariales. La remodelación recibe gran atención conforme cambian las condiciones de operación. La manufactura, las operaciones de almacenamiento, las operaciones de servicio y las operaciones de oficina comparten muchos objetivos de disposición física. Entre éstos destaca la capacidad de producción, bajos costos de manejo de materiales, proveer por la necesidad de personal y de seguridad de los trabajadores, una baja inversión en capitales y bajos costos de producción. Los productores de clase mundial se esfuerzan en buscar flexibilidad en sus disposiciones físicas, que les permitan cambiar las velocidades de producción y modificar hacia otros modelos con rapidez.

A fin de lograr este objetivo, las empresas promueven la capacitación intensiva en muchos puestos de sus trabajadores, programas complejos de mantenimiento preventivo, pequeñas máquinas flexibles, trabajadores que trabajan solos, que están capacitados para la solución de problemas, inventarios innecesarios pequeños y estaciones de trabajo colocadas unas cerca de las otras. Sus disposiciones físicas son relativamente pequeñas, compactas y muy condensadas, con un gran porcentaje de espacio de planta utilizado para la producción y uno menor para los inventarios. Los productores de clase mundial están utilizando más disposiciones físicas de manufactura celular, más equipo automatizado de manejo de materiales como los almacenes automatizados y los sistemas automatizados de vehículos guiados, más líneas de producción en forma de U que permiten más interacción y rotación de puestos de los trabajadores y más áreas abiertas con menos paredes y vistas claras de estaciones de trabajo adyacentes.

Los productores de clase mundial de servicios están diseñando disposiciones físicas para operaciones de trastienda de una manera muy similar a la de los fabricantes de clase mundial. Aquí, las tecnologías de la producción, de procesamiento de los materiales físicos, de los costos de producción y la flexibilidad guían al desarrollo de las disposiciones físicas. Adicionalmente, al competir por los clientes, los productores de servicios diseñan las disposiciones físicas de sus instalaciones con los clientes en mente. El estacionamiento, la recepción, la comodidad y las colas de espera de los consumidores guían el desarrollo de las disposiciones físicas de servicio.

Los productores de clase mundial usan asesores, programas de computadora y expertos funcionales contratados

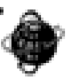
para desarrollar disposiciones físicas de instalaciones. Muchas empresas principales tienen departamentos en sus oficinas centrales corporativas que suministran diseño de instalaciones, construcción, localización y asistencia de disposición física a todas las divisiones de la empresa. La mayoría de las empresas tiene grupos de campo de analistas que proporcionan informes de los problemas de disposición física y recomiendan disposiciones de instalaciones para los procesos, productos, la manufactura celular y los servicios. Los programas de computadora como ALDEP, CORELAP y CRAFT, así como los programas para las heurísticas de balanceo de líneas como los que aparecen en el *POM Computer Library* se utilizan para brindar disposiciones físicas de instalaciones.



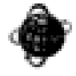
PREGUNTAS DE REPASO Y ANÁLISIS

1. Defina *disposición física de instalaciones.*
2. Nombre tres objetivos para estos tipos de disposiciones:
   a. Operaciones de manufactura
   b. Operaciones de almacenamiento
   c. Operaciones de servicios
   d. Operaciones de oficinas
3. ¿Cuál es el objetivo dominante para estos tipos de disposiciones físicas?
   a. Operaciones de manufactura
   b. Operaciones de almacenamiento
   c. Operaciones de servicio
   d. Operaciones de oficina
4. Nombre cuatro principios del manejo de materiales.
5. Nombre y describa cinco tipos de dispositivos de manejo de materiales.
6. ¿Qué es un AGVS? Descríbalo y analice sus usos.
7. Nombre y describa cuatro tipos de disposiciones físicas para operaciones de manufactura.
8. ¿Cuáles son las decisiones principales que deben tomarse en una disposición física MC? Defina y describa el problema de formación de celdas.
9. ¿Cuáles son los objetivos de las decisiones de formación de celdas? Describa la forma en que se analizan los problemas de formación de celdas. ¿Qué es una pieza excepcional? ¿Qué se hace con las piezas excepcionales?
10. Compare y contraste la disposición física de un banco con la de un hospital. ¿En qué se parecen y en qué difieren?
11. Explique por qué balanceamos las líneas de producción. Describa el procedimiento general para el balanceo de líneas.
12. Nombre dos heurísticas de balanceo de líneas. Explique la heurística de la utilización incremental. Explique la heurística del tiempo de tarea más largo. ¿Bajo qué condiciones se utilizaría cada una de ellas?
13. Describa el procedimiento moderno para las disposiciones físicas de manufactura. Compare y contraste los procedimientos modernos y tradicionales.
14. Nombre cinco tendencias de disposiciones físicas de manufactura.

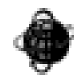
TAREAS EN INTERNET



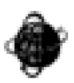
1. Busque en Internet una empresa que proporcione sistemas de bandas transportadoras a clientes industriales. Describa alguno de los sistemas de bandas transportadoras que pueda proporcionar la empresa. Incluya la dirección Internet del sitio Web de la empresa.



2. Crown Equipment Corporation (**www.crownlift.com**) fabrica montacargas eléctricos para servicio pesado utilizados en transporte de materiales y bienes en almacenes y centros de distribución en todo el mundo. Describa detalles de tres diferentes montacargas de la línea de productos de Crown. Describa la función o el propósito del producto de Crown conocido como Wave.



3. Visite el sitio Web de los jets comerciales de Boeing (**www.boeing.com/commercial/**). ¿Cuál es el papel en el mercado del nuevo Boeing 717? Seleccione alguno de los otros modelos de jet comerciales (737, 747, 757, 767 o 777) y encuentre e imprima un diagrama de la disposición física de asientos o su configuración. Describa las opciones de capacidad de asientos de este modelo de jet.



4. Visite una librería en línea como Amazon.com (**www.amazon.com**) o Barnes & Noble (**www.barnesandnoble.com**). Encuentre un libro reciente sobre disposiciones físicas de instalaciones o disposiciones físicas de planta. Liste el título de los autores, la fecha de publicación y la editorial.

PROBLEMAS

1. La planta de Los Ángeles de Computer Products Corporation (CPC) está planeando agregar una nueva ala a su planta de producción existente. La nueva ala alojará la manufactura de ensambles electrónicos para el uso propio doméstico de CPC y para otras empresas de las industrias electrónica y de la computación. Prácticamente, toda la producción de la nueva ala quedará representada por cinco ensambles: P55 Power Unit, Z4 Converter, U69 Equalizer, K5 Audio y T22 Stabilizer. La disposición física de la nueva ala se basará en el proceso utilizado para la manufactura de los ensambles. Se han desarrollado las siguientes estimaciones para el número de viajes de lotes de ensamble entre departamentos de producción para el siguiente año.

Código del departamento	Departamento	Código del departamento 1	2	3	4	5	6	7
1	Recepción		1,600	1,500	200			
2	Formación de juegos			1,400	200			
3	Inspección				2,900			
4	Inserción					3,300		
5	Soldadura						3,000	
6	Terminado							300
7	Empaque y embarque							3,000

Desarrolle un diagrama esquemático de las relaciones generales entre los departamentos de producción utilizando el análisis de secuencia de las operaciones.

2. Utilice el diagrama esquemático desarrollado en el problema 1 como punto de partida y utilice un análisis de diagrama de bloques para desarrollar una disposición física departamental para la nueva ala del edificio de CPC. El departamento de ingeniería de la planta ha determinado que los departamentos de producción de la nueva ala tienen estas necesidades de espacio:

Departamento	Área requerida (pies cuadrados)	Departamento	Área requerida (pies cuadrados)
1. Recepción	1,200	5. Soldadura	2,400
2. Formación de juegos	600	6. Terminado	1,200
3. Inspección	600	7. Empaque y embarque	1,200
4. Inserción	2,400		

3. ABC Food Market acaba de comprar un edificio en una nueva ubicación. Este edificio tiene 80,000 pies cuadrados de espacio de planta, mide 200 por 400 pies, y tiene un amplio estacionamiento. La gerencia de ABC solicitó la ayuda de un asesor local para que le ayude en el diseño de la disposición física de las instalaciones para esta tienda. El asesor ha recibido esta información:

Tráfico promedio diario de clientes entre departamentos

Departamento	A	B	C	D	E	F	G	H
A	—	2,000	1,000	0	500	1,500	200	300
B	—	—	500	1,000	500	500	0	500
C	—	—	—	500	1,500	200	0	300
D	—	—	—	—	0	500	500	500
E	—	—	—	—	—	0	500	0
F	—	—	—	—	—	—	500	1,000
G	—	—	—	—	—	—	—	500
H	—	—	—	—	—	—	—	—

Departamento	Área requerida (pies cuadrados)	Departamento	Área requerida (pies cuadrados)	Departamento	Área requerida (pies cuadrados)
A	5,000	D	8,000	G	16,000
B	5,000	E	4,000	H	12,000
C	10,000	F	20,000		

La gerencia de ABC indicó que el asesor puede organizar los departamentos en cualquier configuración dentro del edificio y que las entradas y salidas presentes pueden modificarse para cumplir con las necesidades de la disposición física. La empresa desea minimizar el recorrido de los clientes entre departamentos.

a. Desarrolle un diagrama esquemático inicial para la organización de los departamentos dentro de la instalación de la tienda de alimentos.
b. Utilice el análisis de secuencia de operación para desarrollar el "mejor" diagrama esquemático para los departamentos.
c. Utilice el análisis del diagrama de bloques para desarrollar una disposición física departamental final. (*Nota*: las áreas de los departamentos antes listadas incluyen áreas de los pasillos.)

4. La fábrica Yellow Bird está agregando una nueva ala a su edificio para la manufactura de una nueva línea de productos, con cinco modelos: a, b, c, d y e. A continuación aparecen las dos alternativas de disposición física.

Disposición física A

1	2	5
4	6	3

Disposición física B

4	5	6
1	2	3

En la tabla que se da a continuación aparecen los modelos de los productos de la nueva ala, sus movimientos a través de seis departamentos y las distancias entre departamentos.

Modelo de producto	Trayectorias de proceso de modelo de producto	Número de productos producidos mensualmente	Movimientos del modelo de productos	Distancia entre departamentos (pies)	
				Disposición física A	Disposición física B
a	4–5–6	5,000	1–2	10	10
b	1–2–3	5,000	2–3	25	15
c	1–2–6	4,000	2–5	15	15
d	1–2–5	2,000	2–6	10	30
e	3–4–5	4,000	3–4	25	35
			3–5	10	20
			4–5	35	15
			5–6	25	15

¿Qué alternativa de disposición física minimiza el recorrido mensual de productos a través de la nueva ala propuesta? (Utilice el análisis carga-distancia.)

5. En el problema 4, los analistas de producción acaban de recibir información adicional: el costo de manejo de materiales para cada producto. El costo de mover una unidad de cada producto entre departamentos en el ala propuesta difiere en razón a su peso, volumen y fragilidad. Estos costos de manejo de materiales se incrementan conforme aumenta la distancia recorrida:

Modelo de producto	Costo de manejo de materiales por producto y pies recorridos (dólares)
a	0.001
b	0.002
c	0.005
d	0.004
e	0.003

¿Qué disposición física, la A o la B, minimiza el costo mensual de manejo de materiales para el ala propuesta?

6. Stratofit Manufacturing Company acaba de adquirir un almacén abandonado y planea expandir sus operaciones de manufactura en este edificio. Se están evaluando dos disposiciones físicas alternativas, la disposición física 1 y la disposición física 2, que se muestran a continuación. La empresa fabrica un elevado volumen de dispositivos electromecánicos patentados que se utilizan en varias industrias diferentes. Dado que el volumen mensual de Stratofit es tan alto, la disposición física seleccionada debe minimizar el recorrido mensual de los productos, de forma que pueda evitarse el costo y la confusión por manejo innecesarios de materiales. Las dos disposiciones físicas mostradas se presentan sobre un fondo de una matriz de 2,500 pies cuadrados (esto es, los cuadrados del fondo tienen 50 × 50 pies), y se supone que los productos viajan en línea recta entre centros de departamentos. Stratofit manufactura ocho productos en esta ubicación. Los códigos de los modelos de producto, la secuencia de los procesos de los productos a través de los departamentos de manufactura y la producción mensual estimada de cada modelo aparecen a continuación:

Disposición física 1

Empaque (8)
Pintura (4)
Fundición (2)
Ensamble final (7)
Electrónica (6)
Embarque y recepción (1)
Fabricación (5)
Mecanizado (3)
Oficina

Disposición física 2

Embarque y recepción (1)
Pintura (4)
Empaque (8)
Ensamble final (7)
Electrónica (6)
Fundición (2)
Maquinado (3)
Fabricación (5)
Oficina

Código del modelo del producto	Secuencia de procesamiento	Producción mensual (unidades)	Código de modelo del producto	Secuencia del procesamiento	Producción mensual (unidades)
5555	1–2–3–4–7–1	5,000	8960	1–5–7–8–1	2,000
5285	1–3–5–7–8–1	5,000	9110	1–7–4–6–1	6,000
9560	1–5–6–8–1	10,000	2955	1–2–3–8–1	3,000
9999	1–2–3–5–4–7–1	4,000	6666	1–6–4–7–1	5,000

a. Utilice el análisis carga-distancia para determinar qué disposición física deberá adoptarse en Stratofit.
b. Compare ambas disposiciones. ¿Cuál prefiere usted? ¿Por qué?

7. La planta en Los Ángeles de Computer Products Corporation pronto agregará una nueva ala a su actual edificio de manufactura, para fabricar ensambles electrónicos. La gerencia de la planta está pensando en dos disposiciones físicas alternativas:

Disposición física 1

① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦

Disposición física 2

② ⑤ ⑥ ③ ① ④ ⑦

A continuación aparecen los ensambles electrónicos de la planta, los recorridos que efectúan los lotes de ensambles electrónicos entre departamentos y las distancias entre departamentos:

Viajes entre departamentos	Distancia entre departamentos (pies)	
	Disposición física 1	Disposición física 2
1–2	24	50
1–3	24	30
1–4	38	46
2–3	44	20
2–4	30	72
3–4	44	52
4–5	50	40
5–6	50	44
5–7	50	60
6–7	40	40

Secuencia de procesamiento de ensambles a través de los departamentos

Ensambles electrónicos	Secuencia de procesamiento por departamentos	Lotes de ensambles a producirse anualmente
P55 Unidad de poder	1–2–3–4–5–6–7	1,400
Z4 Convertidor	1–2–4–5–6–7	200
U69 Ecualizador	1–3–4–5–6–7	1,200
K5 Audio	1–3–4–5–7	300
T22 Estabilizador	1–4–5–6–7	200

Utilice el análisis carga-distancia para determinar qué disposición física minimiza la distancia anual que recorrerán los lotes de ensambles a través de la nueva ala del edificio.

8. Una empresa ensambla y envía por correo paquetes de publicidad para clientes en base contractual. Uno de estos contratos acaba de firmarse y la compañía está desarrollando una disposición física para la línea de ensamble. Según se muestra a continuación estas tareas, las tareas predecesoras y los tiempos de las tareas han sido identificadas y estimadas. El contrato especifica que deben procesarse 50,000 embarques de correo en cinco días de trabajo. La empresa trabaja sólo un turno de ocho horas diarias, y a los empleados se les permiten dos descansos de 15 minutos por turno.
   a. Dibuje el diagrama de las relaciones de precedencia.
   b. Calcule el tiempo de ciclo en minutos.
   c. Calcule el número mínimo de estaciones de trabajo para este contrato.

Tarea	Tareas inmediatamente precedentes	Tiempo de la tarea (minutos/ paquete de correo)
A. Inspeccionar calidad de los materiales	—	.30
B. Preparar juegos para su ensamble	A	.20
C. Ensamblar y pegar los sobres	B	.15
D. Obtener y doblar las circulares	B	.10
E. Fijar la dirección al sobre	C	.10
F. Colocar la circular en el sobre y sellarlo	D,E	.15
G. Preparar camisa de plástico para poner encima del sobre	F	.05
H. Sellar paquete en camisa de plástico	G	.15
I. Procesar los paquetes de correo ya dirigidos a través de la máquina franqueadora	H	.15
J. Entregar los paquetes al buzón de correos	I	.05

9. En el problema 8, combine las tareas en estaciones de trabajo, para minimizar el tiempo ocioso utilizando la heurística de la utilización incremental. Evalúe su solución. ¿Podría usted usar la heurística del tiempo de tarea más largo? ¿Por qué sí o por qué no?

10. Las operaciones de trastienda de un restaurante de comida rápida contienen estas tareas:

Tarea	Tareas que preceden inmediatamente	Tiempo para efectuar la tarea (minutos)	Tarea	Tareas que preceden inmediatamente	Tiempo para efectuar la tarea (minutos)
A	—	0.39	H	—	0.90
B	—	0.25	I	—	0.60
C	—	0.40	J	H,I,G	0.40
D	—	0.05	K	J	0.30
E	A,B	0.49	L	K	0.25
F	C,D	0.65			Total 5.07
G	E,F	0.39			

Si el equipo debe preparar 100 hamburguesas por hora y 50 minutos por hora son los productivos:
   a. Dibuje un diagrama de las relaciones de precedencia.
   b. Calcule el tiempo del ciclo por hamburguesa en minutos.
   c. Calcule el número mínimo de estaciones de trabajo requeridas.
   d. ¿De qué manera combinaría usted las tareas en estaciones de trabajo para minimizar el tiempo ocioso? Utilice la heurística de la utilización incremental. Evalúe su propuesta. ¿Se podría utilizar la heurística del tiempo de tarea más largo? ¿Por qué sí o por qué no?

11. El tiempo para realizar cada una de las tareas y las tareas que deben preceder de inmediato aparecen a continuación:

Tarea	Tareas que preceden de inmediato	Tiempo para efectuar la tarea (minutos)
A	—	0.25
B	A	0.08

Tarea	Tareas que preceden de inmediato	Tiempo para efectuar cada tarea (minutos)
C	B	0.12
D	B	0.17
E	C,D	0.06
F	E	0.05
G	E	0.09
H	E	0.11
I	F,G,H	0.16
J	I	0.08

Si se requieren 150 minutos por hora y son productivos sólo 50 minutos por hora:
a. Dibuje un diagrama de las relaciones de precedencia.
b. Calcule el tiempo de ciclo por unidad en minutos.
c. Calcule el número mínimo de estaciones de trabajo requerido.
d. Utilice la heurística del tiempo más largo de tarea para balancear la línea de producción. Evalúe su solución.

12. El tiempo para efectuar cada una de las tareas, así como las tareas inmediatamente precedentes, aparecen a continuación:

Tarea	Tareas inmediatamente precedentes	Tiempo para realizar tarea (minutos)
A	—	0.07
B	—	0.15
C	A,B	0.08
D	C	0.05
E	C	0.18
F	—	0.12
G	—	0.06
H	F,G	0.10
I	D,E	0.15
J	H,I	0.11
K	J	0.06
L	K	0.19

Si se requieren 220 productos por hora y son productivos sólo 55 minutos de cada hora:
a. Dibuje un diagrama de las relaciones de precedencia.
b. Calcule el tiempo del ciclo por unidad en minutos.
c. Calcule el mínimo requerido de estaciones de trabajo.
d. Utilice la heurística del tiempo de tarea más largo para balancear la línea de producción. Evalúe su solución.

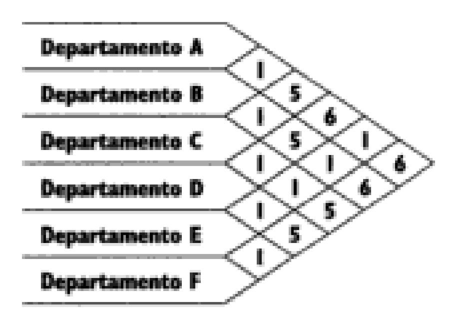
13. De la información del problema 8, utilice el *POM Computer Library* para balancear la línea de producción.
a. Utilice la heurística de la utilización incremental para balancear la línea de producción. Explique y evalúe esta solución.
b. Utilice la heurística del tiempo de tarea más largo para balancear la línea de producción.
c. Utilice la heurística del tiempo de tarea más largo modificado, para balancear la línea de producción. Explique y evalúe esta solución.

14. De la información del problema 12, utilice el *POM Computer Library* para balancear la línea de producción.
a. Utilice la heurística de la utilización incremental para balancear la línea de producción. Explique y evalúe esta solución.
b. Utilice la heurística del tiempo de tarea más largo para balancear la línea de producción.
c. Compare las soluciones obtenidas en los incisos a y b. ¿Cuáles son los pros y los contras de cada solución?

15. Estas calificaciones de cercanía se utilizan para fines de indicar la deseabilidad de tener los departamentos cerca los unos de otros:

Calificación de cercanía	Significado de la calificación
1	Necesario
2	Muy importante
3	Importante
4	Ligeramente importante
5	Sin importancia
6	Indeseable

A continuación aparecen seis departamentos y sus calificaciones de cercanía. La calificación de cercanía entre un par de departamentos se encuentra en la intersección de la rejilla que aparece a continuación.



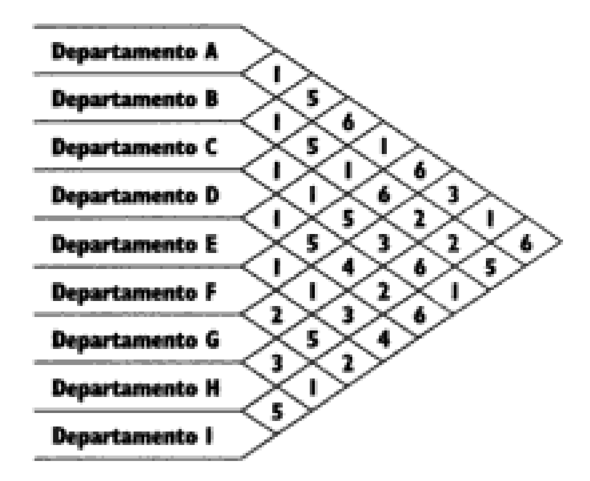
A continuación aparece la disposición física de los seis departamentos. Sugiera formas de mejorarla para que cumpla mejor con las calificaciones de cercanía arriba citadas.

A	E	B
F	C	D

16. Estas calificaciones de cercanía se utilizan para indicar la conveniencia de tener los departamentos unos cerca de otros:

Calificación de cercanía	Significado de la calificación
1	Necesario
2	Muy importante
3	Importante
4	Ligeramente importante
5	Sin importancia
6	Indeseable

A continuación aparecen nueve departamentos y sus calificaciones de cercanía. La calificación de cercanía entre un par de departamentos se encuentra en la intersección dentro de la rejilla que aparece a continuación:



A continuación aparece una disposición física de los nueve departamentos; sugiera formas de mejorarla para que cumpla mejor con las calificaciones de cercanía arriba citadas.

A	C	H
D	B	I
F	G	E

CASOS

INTEGRATED PRODUCTS CORPORATION

Un analista de métodos en Integrated Products Corporation (IPC) ha estado estudiando la línea de ensamble que produce lectores ópticos para códigos de barras. El objetivo del análisis es reducir el tiempo ocioso de los trabajadores en la línea de ensamble para disminuir el costo por mano de obra de los lectores ópticos. Esta información es la aplicable:

Tarea	Tareas inmediatamente precedentes	Tiempo de la tarea (minutos)
A. Formar en juegos los ensambles adquiridos	—	1.35
B. Inspeccionar los ensambles en juegos	A	2.20
C. Procesar el tablero de control a través de la línea de equipo de autoinserción	—	1.90
D. Procesar la tarjeta del controlador a través de la línea de equipamiento de soldadura	C	2.39
E. Recortar y terminar el tablero de control	D	1.75
F. Ensamblar la unidad de poder en el bastidor	B	1.25
G. Ensamblar la unidad lectora en el bastidor	F	0.90
H. Ensamblar el tablero de control en el bastidor	E,G	2.49
I. Ensamblar la unidad de despliegue en el bastidor	H	2.19
J. Inspeccionar y probar el lector óptico terminado	I	2.40
K. Empacar el lector óptico terminado	J	0.69
		Total 19.58

Se deben producir 20 lectores ópticos para código de barras en la línea de producción por hora. En promedio, sólo son productivos 50 minutos por hora, debido a tiempos del personal, descomposturas de maquinaria y tiempos de arranque y parada. Dado que el contrato sindical restringe los tipos de tarea que se pueden combinar en estaciones de trabajo, las tareas sólo se pueden agrupar dentro de estos conjuntos de compatibilidad:

Grupo de compatibilidad	Tareas
Grupo I	A,B
Grupo II	C
Grupo III	D
Grupo IV	E
Grupo V	F,G,H,I,J,K

Por ejemplo, las tareas F y G se podrían combinar en una estación de trabajo, pero no las tareas E y F. Las tareas dentro de los grupos de compatibilidad pueden combinarse cumpliendo de todas maneras con las relaciones de precedencia. En otras palabras, se pueden combinar tareas adyacentes a lo largo del diagrama de red. El trabajo del grupo I es esencialmente manual, que sólo requiere de muchas herramientas de bajo costo.

Tarea

1. Dibuje un diagrama de las relaciones de precedencia.
2. Calcule el tiempo de ciclo por lector óptico para código de barras.
3. Calcule la cantidad mínima de estaciones de trabajo requeridas.
4. Utilice *POM Computer Library* para resolver este problema de balanceo de línea.
5. Compare y explique las soluciones de la heurística de la utilización incremental y de la heurística del tiempo de tarea más largo.
6. Analice de qué manera pondría usted en práctica su solución en un escenario real de manufactura. ¿Qué obstáculos esperaría encontrar? ¿Cómo superaría dichos obstáculos?

Mexibell Telephones Incorporated

Mexibell Telephones Incorporated (MTI) fabrica teléfonos que se venden principalmente a grandes negocios y organizaciones gubernamentales. MTI acaba de ganar un gran contrato para suministrar teléfonos al gobierno canadiense, con entregas repartidas en los siguientes tres años. La empresa ha decidido establecer una nueva línea de producción en una de sus plantas maquiladoras del otro lado de la frontera mexicana de Laredo, Texas. Esta ubicación proporcionaría un fácil acceso a la carretera interestatal 35 para embarques directos hacia Canadá. María García es la analista senior de producción en la planta de producción y tiene la responsabilidad de diseñar la línea de producción.

MTI debe suministrar anualmente 260,000 teléfonos, con embarques rutinarios durante todo el año. La empresa opera ocho horas diarias, 250 días al año. Debido a paros de empleados, mantenimiento y otras razones, de hecho 80 minutos en cada día de trabajo de ocho horas no son productivos. La señora García ha identificado todas las tareas necesarias, las tareas predecesoras y los tiempos estimados de las tareas para la fabricación de un teléfono.

Tarea	Tareas inmediatamente precedentes	Tiempo de la tarea (minutos)
A. Inspeccionar el conjunto de piezas para ver que esté completo	—	0.23
B. Colocar dos campanas en el montaje de campana	A	0.29
C. Colocar los pies a la base	A	0.40
D. Probar los circuitos de la base	A	0.12
E. Sujetar el módulo del teclado en el montaje del teclado	A	0.15
F. Instalar la perilla de control de volumen en el montaje de la campana	B	0.08
G. Remachar los circuitos de base a la base	C,D	0.20
H. Sujetar el montaje de campana a la base utilizando tornillos	F,G	0.14

Tarea	Tareas inmediatamente precedentes	Tiempo de la tarea (minutos)
I. Meter a presión las teclas en el módulo del teclado	E	0.37
J. Sujetar los botones de colgar y su resorte en el montaje del teclado	I	0.09
K. Remachar el montaje del teclado a la base	H,J	0.22
L. Conectar los alambres entre los circuitos, el módulo del teclado y el montaje de la campana	K	0.06
M. Insertar el cable a través del auricular	A	0.08
N. Conectar e insertar el módulo del auricular en el mismo	M	0.05
O. Conectar e insertar el módulo del micrófono en el auricular	N	0.05
P. Atornillar las cubiertas del auricular y del micrófono en el auricular de mano	O	0.13
Q. Conectar el cable del auricular al circuito de la base	L,P	0.07
R. Conectar el cable externo al circuito de la base	Q	0.08
S. Sujetar la cubierta superior a la base utilizando tornillos	R	0.14
T. Sujetar la placa de despliegue del teclado en la unidad	S	0.06
U. Probar la unidad terminada	T	0.18
V. Empacar para embarque	U	0.28

Dado que resultaría ilógico que ciertas tareas fueran ejecutadas por un mismo empleado, hay restricciones por compatibilidad. Las tareas sólo se pueden agrupar si quedan dentro del mismo grupo de compatibilidad. Por lo que se crearon cuatro grupos con muchas de las tareas apareciendo en más de un grupo:

Grupo de compatibilidad	Tarea
Grupo I	A,B,F,H,K,L,Q,R,S,T,U,V
Grupo II	A,C,D,G,H,K,L,Q,R,S,T,U,V
Grupo III	A,E,I,J,K,L,Q,R,S,T,U,V
Grupo IV	A,M,N,O,P,Q,R,S,T,U,V

Por ejemplo, se pueden agrupar juntas las tareas B y F en una sola estación de trabajo, pero no es posible hacerlo con las tareas B y M.

Tarea

1. Dibuje un diagrama de las relaciones de precedencia.
2. Calcule el tiempo del ciclo por teléfono en minutos.
3. Calcule la cantidad mínima de estaciones de trabajo requeridas.
4. Utilice el *POM Computer Library* para diseñar una línea de ensamble para los teléfonos. ¿Qué heurística tiene la utilización más elevada de mano de obra y de equipo?
5. ¿Qué factores distintos a la utilización deberían considerarse en el diseño de la línea de producción?
6. Describa su solución recomendada. ¿Qué tareas se combinan en las estaciones de trabajo? ¿Cuántas operaciones de trabajo aparecen en cada centro de trabajo?
7. Analice la forma en que usted pondría en práctica la solución en un escenario de manufactura. ¿Qué obstáculos esperaría encontrar? ¿Cómo los superaría?

THE CARERITE CLINIC

Carerite Clinic necesita expandirse y acaba de adquirir una oficina de un solo piso, con 10,000 pies cuadrados de espacio de planta. Carerite está desarrollando planes para redecorar y equipar el edificio para que se ajuste a sus procesos médicos. Contrató un asesor para analizar los procesos de la clínica y que recomiende una disposición física para su edificio. El asesor presentó a Carerite dos planes alternativos: la disposición física 1 y la disposición física 2. El personal de Carerite debe decidir entre ambas alternativas.

Como primer paso, el personal se ha puesto de acuerdo en las calificaciones de cercanía para ubicar departamentos unos cerca de otros. Estas calificaciones se utilizan para indicar la deseabilidad de tener unos departamentos cerca de otros.

A continuación aparecen ocho departamentos y su cercanía. Las calificaciones de cercanía de un par de departamentos se encuentra en la intersección en la rejilla que abajo se muestra:

Departamento	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Sala de espera (1)	2	2	6	3	4	6	3
Admisión y administración (2)		2	4	3	4	6	2
Farmacia (3)			4	3	4	4	3
Consultorio de los doctores (4)				1	5	3	4
Cubículos de diagnostico (5)					3	3	2
Laboratorios (6)						1	2
Cirugía (7)							1
Urgencias (8)							

Calificación de cercanía	Significado de la calificación
1	Necesaria
2	Muy mportante
3	Importante
4	Ligeramente importante
5	No importante
6	No deseable

Estas calificaciones de cercanía representan muchos factores que hacen deseable localizar los departamentos adyacentes uno al otro. Entre estos factores está la cantidad de pacientes que se espera vayan entre uno y otro departamento por mes, la necesidad de transportar con rapidez a pacientes entre departamentos, la necesidad de ahorrar tiempo de los doctores, la gravedad de los casos que fluyan entre departamentos, la cantidad de materiales que fluyen entre departamentos, la necesidad de compartir personal y equipo entre departamentos y la secuencia normal de los procesos de los pacientes a través de edificio.

Las dos disposiciones físicas se establecen sobre un fondo de matriz donde un cuadrado representa 100 pies cuadrados. Aunque las calificaciones de cercanía arriba citadas son un factor importante, también lo es la distancia entre departamentos. El personal de Carerite desea tomar en consideración tanto las calificaciones de cercanía como la distancia de departamentos en el análisis de las dos disposiciones físicas. Logrará este objetivo al minimizar la distancia total entre departamento al ponderarlas con la inversa de las calificaciones de cercanía, en otras palabras, la distancia entre cada par de departamento se multiplicaría por la calificación de cercanía para que el par obtenga una distancia compensada por cercanía. Se supone que la distancia entre departamentos se medirá en línea recta que conecte sus centros aproximados. La distancia ponderada total de cercanía para el edificio incluiría las distancias ponderadas de cercanía para todas las combinaciones posibles de pares de departamentos.

Disposición física 1

Consultorios de doctores (4)

Cubículos de diagnóstico (5)

Laboratorios (6)

Farmacia (3)

Cirugía (7)

Sala de espera (1)

Admisiones y altas (2)

Urgencias (8)

Disposición física 2

Tarea

1. Analice las dos disposiciones físicas para determinar la que minimiza la distancia total ponderada por cercanía.
2. ¿Qué cambios en estas disposiciones físicas sugiere su análisis?
3. Analice de qué manera modificaría el procedimiento de análisis para hacerlo más realista.

NOTAS FINALES

1. Buffa, E. S. "Sequence Analysis for Functional Layouts." *Journal of Industrial Engineering* 6 (marzo-abril de 1955): 12–25.
2. Si desea información adicional sobre estos análisis, véanse Seehof, Jarrold M. y Wayne O. Evans. "Automated Layout Design Programs." *Industrial Engineering* 18 (diciembre de 1967): 690-695; Lee, Robert S. y James M. Moore. "CORELAP—Computerized Relationship Layout Planning." *Journal of Industrial Engineering* 18 (marzo de 1967): 195-200; y Buffa, Elwood S. y Thomas E. Vollmann. "Allocating Facilities with CRAFT." *Harvard Business Review* 42 (marzo-abril de 1964): 136-150.

BIBLIOGRAFÍA SELECCIONADA

Bozer, Yavuz A. y Russell D. Meller. "A Reexamination of the Distance-Based Layout Problem." *IIE Transactions* 29, no. 7 (julio de 1997): 549–560.

Brandon, John A. *Cellular Manufacturing: Integrating Technology and Management.* Nueva York: John Wiley & Sons, 1996.

Buffa, E. S., G. C. Armour y T. E. Vollmann. "Allocating Facilities with CRAFT." *Harvard Business Review* 42 (marzo-abril de 1964): 136-158.

Frazier, Gregory V. y Mark T. Spriggs. "Achieving Competitive Advantage Through Group Technology." *Business Horizons* 39, no. 3 (mayo-junio de 1996): 83–90.

Gaither, N., G. V. Frazier y J. C. Wei. "From Job Shops to Manufacturing Cells." *Production and Inventory Management Journal* 31, no. 4 (cuarto trimestre de 1990): 33–36.

Houshyar, Azim y Bob White. "Comparison of Solution Procedures to the Facility Location Problem." *Computers & Industrial Engineering* 32, no. 1 (enero de 1997): 77–87.

Hyer, Nancy Lea y U. Wemmerlov. "Group Technology and Productivity." *Harvard Business Review* 62 (julio-agosto de 1984): 140–149.

Klein, Robert y Armin Scholl. "Maximizing the Production Rate in Simple Assembly Line Balancing—A Branch and Bound Procedure." *European Journal of Operational Research* 91, no. 2 (7 de junio de 1996): 367–385.

Chakravorty, Satya S. y J. Brian Atwater. "Do JIT Lines Perform Better Than Traditionally Balanced Lines?" *International Journal of Operations & Production Management* 15, no. 2 (1995): 77-88.

Chase, R. B. "Survey of Paced Assembly Lines." *Industrial Engineering* 6, no. 2 (febrero de 1974): 14-18.

Francis, Richard L., Leon F. McGinnis, Jr. y John A. White. *Facility Layout and Location: An Analytical Approach.* Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1992.

Lee, Robert S. y James M. Moore. "CORELAP—Computerized Relationship Layout Planning." *Industrial Engineering* 18 (marzo de 1967): 195–200.

Meller, Russell D. y Kai-Yin Gau. "The Facility Layout Problem: Recent and Emerging Trends and Perspectives." *Journal of Manufacturing Systems* 15, no. 5 (1996): 351–366.

Suresh, Nallan C. y John M. Kay, eds. *Group Technology and Cellular Manufacturing: A State-of-the-Art Synthesis of Research and Practice.* Boston: Kluwer Academic Publishers, 1997.

Winarchick, Charles y Ronald D. Caldwell. "Physical Interactive Simulation: A Hands-On Approach to Facilities Improvements." *IIE Solutions* 29, no. 5 (mayo de 1997): 34–42.



PARTE III

DECISIONES DE OPERACIÓN: *PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN PARA CUMPLIR CON LA DEMANDA*

CAPÍTULO 9
Sistemas de planeación de la producción: *planeación agregada y programa maestro de producción*

CAPÍTULO 10
Sistemas de inventarios sujetos a demanda independiente

CAPÍTULO 11
Sistemas de planeación de requerimientos de recursos: *planeación de los requerimientos de materiales (MRP, por sus siglas en inglés) y planeación de los requerimientos de capacidad (CRP, por sus siglas en inglés)*

CAPÍTULO 12
Planeación y control de piso de planta en la manufactura

CAPÍTULO 13
Planeación y programación de operaciones de servicio

CAPÍTULO 14
Manufactura justo a tiempo (JIT, por sus siglas en inglés)

CAPÍTULO 15
Administración de la cadena de suministros

En la parte II de este libro exploramos la manera en que los gerentes de operaciones encaran y analizan decisiones estratégicas en las operaciones. El diseño y desarrollo de los procesos de producción, la planeación e implementación de nuevas tecnologías de producción, la asignación de recursos escasos a unidades empresariales y la planeación a largo plazo de la capacidad y las instalaciones son tan importantes, que en ellas se pone gran atención y tienen gran notoriedad. Sin embargo, no debemos permitir que estas decisiones estratégicas reduzcan la importancia de otras decisiones que cotidianamente se den en la administración de la producción y de las operaciones y que, bajo ciertas condiciones, pueden tener igual importancia.

Los gerentes de operaciones nos dirán que la causa más importante de presión y tensión en sus puestos es la necesidad constante de producir productos y servicios de elevada calidad para cumplir las promesas de entrega a los clientes y, al mismo tiempo, mantener control sobre los costos. Los productos y servicios deben entregarse a tiempo y dentro del presupuesto de costos. Al perseguir este objetivo, los gerentes de operaciones efectúan actividades de planeación de la producción como las que siguen:

1. Desarrollan planes de capacidad agregada, que por lo general cubren de 6 a 18 meses. Estos planes a mediano plazo deben dar la capacidad de producción necesaria para cumplir las demandas de los clientes de productos y servicios.
2. Establecer sistemas de planeación de la producción para que guíen a las organizaciones en el cumplimiento de las promesas de entrega a los clientes, al cumplimiento de los objetivos de inventario y al mantenimiento de bajos costos de producción.
3. Proporcionar un inventario suficiente de productos terminados para cumplir el doble objetivo de un bajo costo de operación y una pronta entrega de productos a los clientes.
4. Programar la producción de productos y servicios necesarios para cumplir con las promesas de entrega a los clientes y cargar las instalaciones de producción, de manera que se mantengan reducidos los costos de producción.
5. Planear la adquisición, almacenamiento y embarque de materiales, de manera que los materiales correctos estén disponibles en la cantidad correcta y en el momento oportuno, para apoyar los programas de producción.

Dado que el efecto agregado de estos planes, problemas y decisiones es gigantesco, a mediano y corto plazo, en la parte III se hace énfasis en ellos.

CAPÍTULO 9

SISTEMAS DE PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN: *PLANEACIÓN AGREGADA Y PROGRAMA MAESTRO DE LA PRODUCCIÓN*



Introducción

Jerarquía en la planeación de la producción

Planeación agregada
- *Demanda agregada*
- *Dimensiones de la capacidad de producción*
- *Fuentes de capacidad de producción en el mediano plazo*
- *Algunos planes agregados tradicionales*
  - *Coincidir con la demanda • Nivelar capacidad*
- *Criterios para selección de planes agregados*
- *Planes agregados para servicios*
- *Modelos matemáticos para la planeación agregada*
- *Tácticas prioritarias*

Programa maestro de producción
- *Objetivos del programa maestro de producción*
- *Barreras temporales en los programas maestros de producción*
- *Procedimientos para el desarrollo de programas maestros de producción*
- *Administración de la demanda*
- *Actualización semanal del programa maestro de producción*
- *El programa maestro de producción en empresas que fabrican para existencias y empresas que lo hacen sobre pedido*
- *Duración de los horizontes de planeación*
- *Programa maestro de producción computarizado*

Tipos de sistemas de planeación y control de producción
- *Sistema de agotamiento de depósito*
- *Sistemas de empujar*
- *Sistemas de jalar*
- *Enfoque a cuellos de botella*
  - *Teoría de las restricciones*

Recopilación:
Lo que hacen los productores de clase mundial

Preguntas de repaso y análisis

Tareas en Internet

Problemas

Casos
- *Planeación agregada en Sound Products Company*
- *Planeación agregada en Bell Computers*
- *Planeación agregada en Beltway Trucking*

Notas finales

Bibliografía seleccionada

PLANEACIÓN AGREGADA EN NEW GENERATION COMPUTERS

Un gerente de operaciones de New Generation Computers (NGC) está desarrollando un plan de producción agregado de seis meses para fabricar una familia de impresoras para computadora. El departamento de comercialización de NGC ha estimado la demanda de las impresoras para el periodo de seis meses. Hay varios modelos de impresoras y la mano de obra para producir cada una depende de las características del modelo. Aunque es posible utilizar mano de obra en tiempo extra, NGC tiene una política que limita ese tiempo mensualmente a 10% de la mano de obra en tiempo ordinario disponible. La mano de obra en tiempo extra es más costosa que la de en tiempo ordinario y el sindicato de NGC apoya su uso. NGC tiene una política de no despidos a favor de sus trabajadores, por lo que todos los meses está disponible una misma cantidad de mano de obra en tiempo ordinario para la producción de impresoras. La operación de soldadura opera tres turnos diarios y puede producir un máximo de 200 impresoras al día. NGC tiene que incurrir en un costo de acarrear inventarios cada vez que una impresora se produce un mes y se embarca el siguiente. Los objetivos del plan de producción agregado son plena utilización de la fuerza de trabajo, no exceder la capacidad de la maquinaria, embarcar con prontitud los pedidos de los clientes y minimizar los costos por tiempo extra y de inventario.

El relato anterior es un ejemplo de lo que se conoce como **planeación agregada**. En este tipo de planeación, los gerentes de operaciones desarrollan planes a mediano plazo sobre la forma en que fabricarán los productos para los siguientes varios meses. Estos planes especifican la mano de obra, subcontratación y otras fuentes de capacidad que se van a utilizar. Los gerentes de operaciones también se ocupan del **programa maestro de producción,** desarrollando planes de producción a corto plazo para los productos terminados que se fabricarán en las siguientes semanas. En este capítulo, estudiaremos la planeación de la producción tanto a plazo medio como a corto plazo.

JERARQUÍA EN LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

La figura 9.1 ilustra la planeación de la producción a corto plazo, a mediano y a largo plazo. Estudiamos la planeación de la capacidad a largo plazo en el capítulo 7; estos planes son necesarios para desarrollar instalaciones y equipo, los principales proveedores y los procesos de producción, mismos que se convierten en restricciones para los planes a mediano y a corto plazo. La planeación agregada desarrolla planes de producción a mediano plazo en lo que se refiere a empleo, a inventarios agregados, a servicios generales, a modificaciones a las instalaciones y a contratos de suministro de materiales. Estos planes agregados imponen restricciones sobre los siguientes planes de producción. A continuación estudiaremos la planeación agregada de la producción.

Los programas maestros de producción son planes a corto plazo para producir productos terminados o bienes finales, utilizados para guiar a los sistemas de planeación y control de la producción. Estos sistemas desarrollan programas a corto plazo de producción de piezas y de ensambles, programas de adquisición de materiales, programas de piso de taller y programas de fuerza de trabajo. Los capítulos restantes 10 al 15, de la parte III de este texto, se refieren a estos sistemas de planeación y control de la producción a corto plazo. Dado que el programa maestro de producción es el que dirige a estos sistemas, este capítulo es vital para comprender el resto de los capítulos de la parte III. Por esta razón, posteriormente en este capítulo analizaremos el programa maestro de producción.

PLANEACIÓN AGREGADA

La planeación agregada es necesaria en la administración de la producción y de las operaciones, puesto que provee de:

- Instalaciones a plena carga, minimizando tanto sobrecargas como subcargas, reduciendo así los costos de producción.

FIGURA 9.1 **PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN LA MANUFACTURA**

Horizonte de planeación	Unidades de medición		Descripción
Largo plazo (años)	Totalidad de la línea de producto: por ejemplo, todos los camiones Ford	Planeación de la capacidad a largo plazo	Ejecutivos como el vicepresidente de operaciones preparan planes a largo plazo para (1) instalaciones-ubicación, disposición física, tamaños y capacidades de las plantas; (2) planes de los proveedores principales y grado de integración vertical; (3) planes de procesamiento-nueva tecnología de la producción, nuevos procesos de producción, nuevos sistemas de automatización.
Rango medio (6 a 18 meses)	Familia de productos: por ejemplo, camiones de la serie F de Ford	Planeación agregada	Los gerentes de operaciones divisionales preparan planes (1) empleo-despido, contrataciones, recontrataciones, vacaciones, tiempo extra, empleados de tiempo parcial; (2) inventarios; (3) servicios generales; (4) modificaciones a las instalaciones; (5) contratos de suministro de materiales.
Corto plazo (de varias semanas a unos cuantos meses)	Un modelo de producto específico: por ejemplo, el Ford F-150	Programa maestro de producción	Los gerentes de operaciones de las fábricas preparan planes para los programas maestros de producción-cantidad y sincronización de la producción de bienes terminados y de artículos finales.
	Recursos requeridos para la fabricación de un modelo específico de producto: por ejemplo, horas de mano de obra, materiales y componentes, capacidades de producción	Sistemas de planeación y control de la producción	Los gerentes de operación de las fábricas efectúan planes para (1) programas de producción de componentes y ensambles a manufacturar; (2) programas de materiales comprados; (3) programas de piso de taller-cambios de máquinas, movimiento de lotes; (4) programas de la fuerza de trabajo

Sistema de agotamiento de depósito	Sistemas de empujar (MRP)	Sistemas de jalar (JIT)	Enfoque a cuellos de botella (TOC)
Utilizado en todos los tipos de producción. Mejor para productos con una demanda realmente aleatoria	Utilizado en todos los tipos de producción tiene mayores beneficios en talleres de tareas	Utilizados en todos los tipos de producción, pero con mayor éxito en aplicaciones de manufactura repetitiva	Utilizado en todos los tipos de producción, pero se obtiene mayores beneficios en talleres de tareas

- Capacidad adecuada de producción, para llenar la demanda acumulada esperada.
- Un plan para el cambio ordenado y sistemático de la capacidad de producción para cumplir con los picos y valles de la demanda esperada de los clientes.
- Obtener la máxima producción, en función a los recursos disponibles, lo que es importante en tiempos con recursos de producción escasos.

La planeación agregada es la clave para manejar el cambio en la administración de la producción y de las operaciones, dada la variabilidad de los patrones de la demanda de los clientes y los planes para tener recursos de producción que se adapten a estos cambios, lo que es fundamental para la planeación agregada.

La planeación agregada como proceso, generalmente sigue los pasos que se muestran en la figura 9.1. La Instantánea Industrial 9.1 describe la situación de planeación de capacidad agrega-

TABLA 9.1 **PASOS EN LA PLANEACIÓN AGREGADA**

1. Empiece con un pronóstico de ventas para cada producto que indique las cantidades a venderse en cada periodo (generalmente semanas, meses, o trimestres) durante el horizonte de planeación (por lo general de 6 a 18 meses).
2. Totalice todos los pronósticos de productos o servicios individuales en una demanda agregada. Si los productos no se pueden sumar por tratarse de unidades heterogéneas, se debe seleccionar una unidad homogénea de medición que permita a la vez que los pronósticos se sumen y que los resultados agregados se vinculen con la capacidad de producción.
3. Transforme la demanda agregada de cada periodo en trabajadores, materiales, máquinas y otros elementos de capacidad de la producción requerida para satisfacer la demanda agregada.
4. Desarrolle esquemas alternativos de recursos para suministrar la capacidad necesaria de producción para darle apoyo a la demanda agregada.
5. Seleccione de entre las alternativas consideradas el plan de capacidad que satisfaga la demanda agregada y que cumpla mejor con los objetivos de la organización.

Nota: el paso 5 supone que el sistema de producción está obligado por política gerencial a producir el pronóstico de ventas. Hay ocasiones en que la capacidad no puede incrementarse lo suficiente o es más redituable producir menos que lo previsto en el pronóstico de ventas. Se supone, para los fines de este capítulo, que ya se resolvieron estos problemas, y que el pronóstico de ventas es la meta de la producción.

INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 9.1

PLANEACIÓN AGREGADA EN SHERMAN-BROWN CHEMICAL COMPANY

Herman Brown Chemical Company está a punto de terminar su plan de capacidad agregada para el siguiente año. La compañía produce tres tipos de pintura —látex para interior, látex esmalte y látex color— con base en una producción para inventario. La planta se localiza en Cleveland, Ohio, donde hay abundancia de trabajadores que efectúan las tareas de preparación, mezcla y enlatado de materiales: las principales operaciones de la línea de producción.

También hay disponible en abundante cantidad base de látex, pigmentos, latas, cajas y otros materiales requeridos para fabricar los productos de Sherman-Brown para proveedores confiables y probados. El equipo de proceso en los departamentos de producción es operado sólo durante un turno, porque el año pasado la administración de Sherman-Brown compró un competidor, por lo que existe exceso de capacidad de máquinas. Por lo mismo, hay amplio espacio de almacenamiento disponible para guardar el inventario de productos terminados.

La situación de la capacidad en Sherman-Brown es la siguiente: dado que el único factor limitante para planear la capacidad es la fuerza de trabajo, el único problema de capacidad de producción a resolverse es determinar la cantidad de trabajadores a emplear durante cada periodo para apoyar los pronósticos de ventas de los tres productos para pintura.

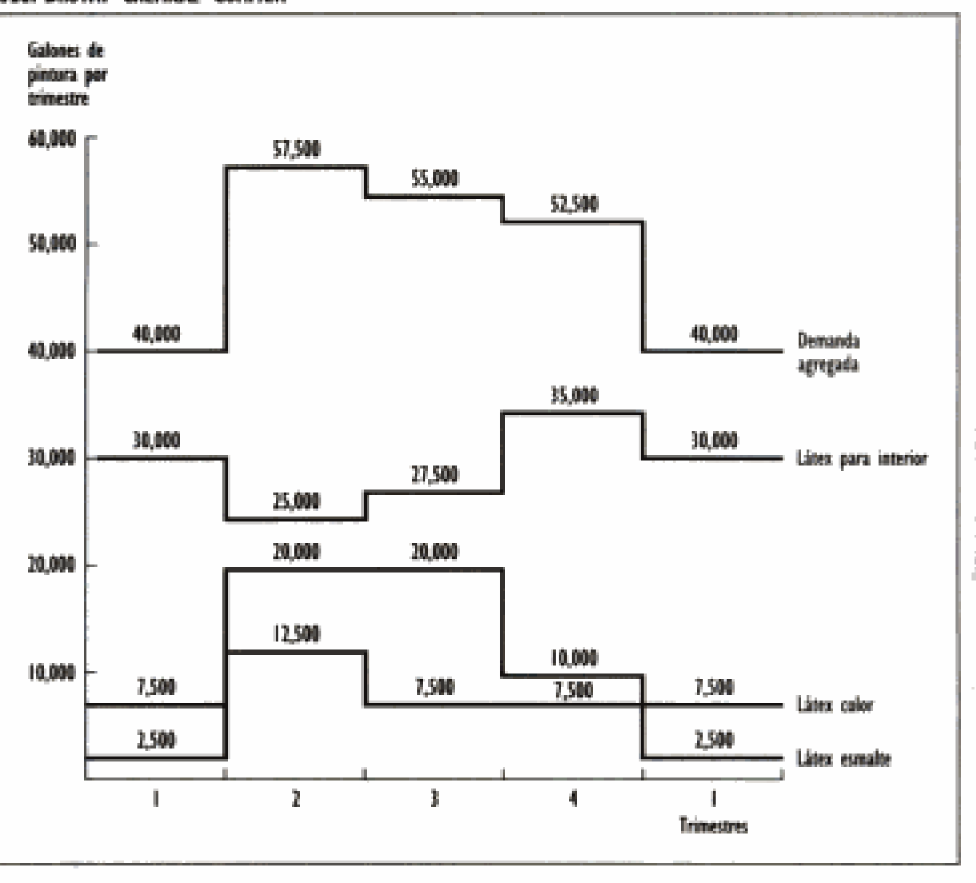
Actualmente, el gerente de la planta de Sherman-Brown está tomando en consideración tres planes para proporcionar la capacidad de producción: 1) nivelar capacidad con inventarios y 2) hacer coincidir la producción con la demanda. Estas alternativas deben evaluarse en función de cual de los planes da como resultado el costo anual total más bajo y al mismo tiempo considerando los tres elementos del costo: 1) costo de contratar trabajadores eventuales a lo largo del año, 2) costo de despedirlos durante el mismo periodo, 3) costo de acarrear un inventario de productos terminados durante todo el año.

Estos son los datos importantes para este análisis: días de trabajo por trimestre, 65; estándar de mano de obra por galón para todo tipo de pintura, 2.311 trabajadores-hora por galón, horas de trabajo por turno, 8 horas por turno por trabajador, capacidad máxima de máquinas en un turno: 100,000 galones por trimestre para todos los tipos de pinturas.

Los análisis clave que Sherman-Brown debe realizar en el desarrollo de un plan de capacidad agregada son:

1. Desarrollar un pronóstico de demanda agregada a partir de los pronósticos individuales de los tres productos.
2. Comparar las dos alternativas para proporcionar la capacidad de producción en lo que se refiere a la cantidad de trabajadores contratados, la cantidad de trabajadores despedidos y el nivel promedio de inventarios de productos terminados a lo largo de todo el año.
3. Desarrollar un análisis de las dos alternativas de proporcionar la capacidad de producción en función a su impacto sobre los niveles de empleo de los trabajadores y los inventarios de productos terminados.
4. Seleccionar el plan de capacidad alternativa que tenga el costo anual más bajo.

FIGURA 9.2 AGREGACIÓN DE LOS PRONÓSTICOS DE PRODUCTOS INDIVIDUALES A LA DEMANDA AGREGADA: SHERMAN-BROWN CHEMICAL COMPANY



da en la Sherman Brown Company. Haremos referencia a este relato conforme avancemos en esta sección.

DEMANDA AGREGADA

La planeación de la producción a rango medio empieza por los pronósticos de demanda. Métodos como los abordados en el capítulo 3, Pronósticos en la administración de la producción y de las operaciones, son los utilizados para estimar la cantidad de productos y servicios que probablemente serán demandados en cada periodo en el horizonte de planeación. La figura 9.2 muestra la forma en que Sherman-Brown Chemical Company desarrolla una demanda agregada, con un horizonte de planeación de un año.

Los pronósticos trimestrales individuales de los tres productos se suman para formar la demanda agregada de todos los productos, expresados en galones por trimestre, las capacidades de producción también se expresan en esta misma unidad de medición. Dado que el plan agregado también se expresa en galones por trimestre, las capacidades de producción también se pueden dimensionar hacia arriba y hacia abajo para que cumplan de manera aproximada con la demanda agregada.

Cuando se producen diversos productos, quizás agregar la demanda podría no resultar tan simple: por ejemplo, una empresa que produzca a la vez cortadoras de pasto y podadoras rotativas. Dado que es poco probable que una cortadora requiera del mismo monto de mano de obra y de horas máquina que una podadora, la producción mensual debe expresarse en unidades diferentes a los productos. En estos casos, la producción se puede traducir de productos mensuales a unidades tales como horas de mano de obra, horas máquina, dólares de venta u otras unidades que resulten una buena medida de la capacidad de producción. La producción de las podadoras de pasto y de las podadoras rotativas se pudiera traducir en horas de mano de obra utilizando un estándar

de mano de obra. Una cortadora requiere de 21 horas de mano de obra y una podadora rotativa 17. El plan agregado para ambos productos sería el total de horas de mano de obra para cada periodo requerido para producir la cantidad pronosticada de ambos productos.

DIMENSIONES DE LA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN

Una parte esencial de la planeación agregada es la comprensión global de la capacidad de producción de cada sistema. De particular importancia son las respuestas a estas preguntas:

1. **¿Cuánto se dispone de cada recurso de producción?** La capacidad de producción en cada periodo pudiera estar restringido por factores como cantidad de trabajadores o máquinas.
2. **¿Cuánta capacidad proporciona cada tipo de recurso?** La cantidad de recursos requerida para producir un solo producto permite traducir la demanda en necesidades de capacidad de producción. Los estándares de mano de obra (horas de mano de obra por producto) y los estándares de máquinas (horas máquina por producto) por lo común se utilizan para traducir la demanda en cantidad de trabajadores y máquinas necesarias.
3. **¿En qué paso de la producción determinamos la capacidad?** En la producción enfocada a los productos, la capacidad pudiera determinarse mediante **la operación de entrada**, es decir, la primera operación en una línea de producción. En una producción enfocada a los procesos, la capacidad puede determinarse mediante una **operación con cuello de botella,** es decir una operación que tenga menor capacidad para un producto. En otros tipos de producción, la capacidad puede determinarse en función del número de horas de mano de obra o en horas-máquina de un departamento de producción en particular o de toda la fábrica.
4. **¿Cuánto cuesta dimensionar capacidades hacia arriba o hacia abajo?** El costo de contratar, despedir o recontratar a los empleados, por ejemplo, puede afectar los planes para proporcionar capacidad de producción.

Estas complejidades de la capacidad de producción han llevado a los sistemas de producción a identificar varias fuentes prácticas de obtener capacidad de producción en el mediano plazo.

FUENTES DE CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN EN EL MEDIANO PLAZO

Dado que la planeación agregada abarca periodos de sólo seis a 18 meses, no hay suficiente tiempo disponible para incrementar la capacidad agregando edificios, máquinas y otros bienes de capital. Esto mueve el enfoque a otras posibles fuentes de capacidad de producción, al desarrollar planes para hacer frente a la demanda de los clientes. Varias variables pueden alterarse para modificar a plazo medio la capacidad de producción de un mes al siguiente. Entre éstas aparecen:

1. **Mano de obra en tiempo ordinario.** La producción de los trabajadores pagados durante tiempo ordinario por lo general significa 40 horas o menos a la semana. Las fuentes de mano de obra son los empleados a tiempo completo o a tiempo parcial, los recién contratados o trabajadores despedidos y que pueden ser recontratados. El mercado local de mano de obra pudiera resultar un factor limitante y contratos con el sindicato pudieran limitar la flexibilidad de la administración en la contratación de empleados nuevos y en el despido de trabajadores experimentados.
2. **Mano de obra en tiempo extra.** Producción realizada por los trabajadores cuando se les paga tasas de mano de obra en tiempo extraordinario, lo que por lo general significa durante más de 40 horas por semana. El tiempo extra puede estar limitado por políticas sindicales o empresariales.
3. **Inventarios.** Producción en periodos anteriores que se ha conservado para su embarque posterior.
4. **Subcontratación**. Producción de productos o servicios realizada por proveedores.

La mano de obra en tiempo ordinario es la fuente preferida de capacidad de producción y se utiliza para proporcionar la capacidad de producción básica. Cuando la demanda excede la capacidad de la fuerza de trabajo existente, se pueden utilizar nuevas contrataciones, tiempo extra, inventarios y subcontratación. Pero las nuevas contrataciones, el tiempo extra, los inventarios y la subcontratación pueden

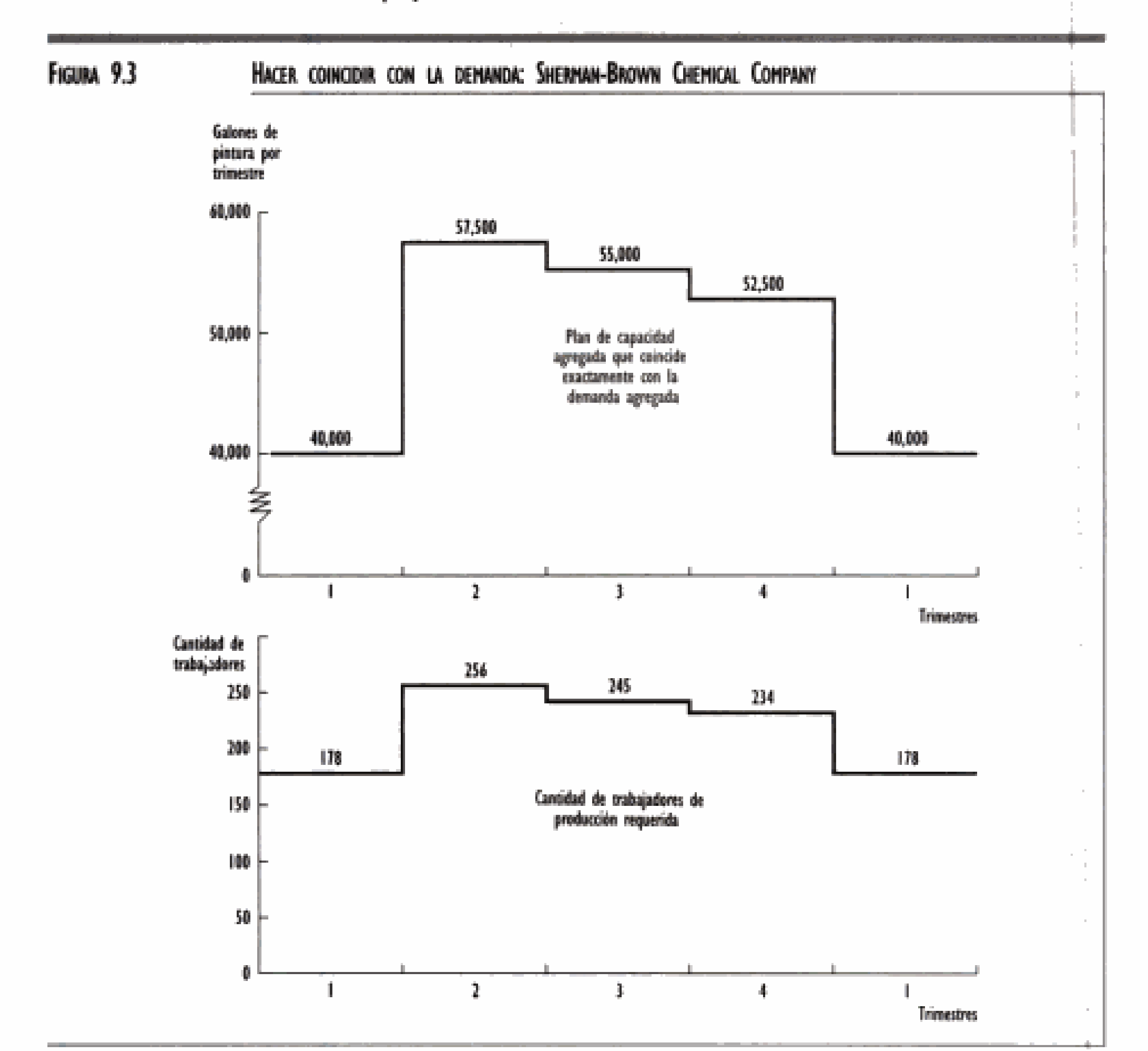
costar más y pueden causar otras dificultades. Las compañías enfrentan precavidamente la decisión sobre cómo proporcionar de la mejor manera capacidad de producción para los picos de la demanda.

ALGUNOS PLANES AGREGADOS TRADICIONALES

Dadas las fuentes citadas de capacidad de producción, han aparecido ciertos planes tradicionales para proporcionar capacidad de producción y cumplir con la demanda de los clientes. El plan para hacer coincidir la demanda y el plan de nivelar la capacidad, utilizados en conjunción con inventarios, pedidos pendientes, tiempo extraordinario, mano de obra en tiempo parcial o subcontratación, se observan en la práctica común de la administración de la producción y de las operaciones.

Coincidir con la demanda. En el tipo de plan agregado de **coincidir con la demanda,** la capacidad de producción de cada periodo se modifica para que coincida exactamente con la demanda agregada pronosticada para ese lapso. Este procedimiento varía el nivel de la fuerza de trabajo en cada periodo, contratando o despidiendo nuevos trabajadores. La figura 9.3 muestra la forma en que, utilizando este tipo de plan agregado, fluctuaría la fuerza de trabajo en Sherman-Brown Chemical Company.

FIGURA 9.3 HACER COINCIDIR CON LA DEMANDA: SHERMAN-BROWN CHEMICAL COMPANY



El estándar de mano de obra en Sherman-Brown es 2.311 horas de trabajador por galón de pintura. Por lo tanto, la cantidad de trabajadores requeridos en cada trimestre se determina como sigue:

$$\text{Trabajadores} = \frac{\text{Galones de pintura por trimestre} \times \text{Estándar de mano de obra por galón}}{\text{Días laborables por trimestre por trabajador} \times \text{Horas por día}}$$

$$\textit{Primer trimestre} = (40{,}000 \times 2.311) \div (65 \times 8) = 178 \text{ trabajadores}$$

$$\textit{Segundo trimestre} = (57{,}500 \times 2.311) \div (65 \times 8) = 256 \text{ trabajadores}$$

$$\textit{Tercer trimestre} = (55{,}000 \times 2.311) \div (65 \times 8) = 245 \text{ trabajadores}$$

$$\textit{Cuarto trimestre} = (52{,}500 \times 2.311) \div (65 \times 8) = 234 \text{ trabajadores}$$

La ventaja principal de este plan es que prácticamente no se necesita ningún inventario de productos terminados y por lo tanto se evita gran parte del costo de mantener o acarrear inventario. Sin embargo, los costos por mano de obra y materiales tienden a ser elevados, debido a cambios causados al incrementar y disminuir con frecuencia la fuerza de trabajo y la capacidad de materiales y suministros.

Nivelar capacidad. En el procedimiento de *nivelar capacidad*, la capacidad de la producción se mantiene constante durante el horizonte de planeación. La diferencia entre la tasa constante de producción y la tasa variable de la demanda se absorbe por el inventario, por los pedidos pendientes, por tiempo extra, por mano de obra a tiempo parcial y por subcontratación. La figura 9.4 ilustra las formas en que esta diferencia se amortigua con cada una de estas fuentes de la capacidad.

Amortiguamiento utilizando inventarios. Si una empresa se dedica a producir para inventarios, el inventario de productos terminados amortigua la diferencia entre la demanda variable y la capacidad de producción constante. La figura 9.5 ilustra la forma en que este procedimiento operaría en el caso de que Sherman-Brown Chemical Company fuera una empresa de producir para inventario. La empresa establecería su capacidad constante de producción, igual a la demanda promedio trimestral de 51,250 galones y permitiría que el inventario suministrara la capacidad en aquellos trimestres donde la demanda exceda a la capacidad.

El inventario final de cada trimestre se calcula utilizando esta fórmula.

$$EI_t = EI_{t-1} + (P_t - D_t)$$

donde:

EI_t = inventario final del trimestre t
EI_{t-1} = inventario final en el trimestre t − 1, que es el trimestre anterior
P_t = producción en el trimestre t
D_t = demanda en el trimestre t

Si suponemos que el inventario es cero al principio del trimestre 1, el inventario final en cada uno de los trimestres se calcula de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} EI_1 &= BI_0 + (P_1 - D_1) \\ &= 0 + (51{,}250 - 40{,}000) \\ &= 11{,}250 \text{ galones} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} EI_2 &= EI_1 + (P_2 - D_2) \\ &= 11{,}250 + (51{,}250 - 57{,}500) \\ &= 5{,}000 \text{ galones} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} EI_3 &= EI_2 + (P_3 - D_3) \\ &= 5{,}000 + (51{,}250 - 55{,}000) \\ &= 1{,}250 \text{ galones} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} EI_4 &= EI_3 + (P_4 - D_4) \\ &= 1{,}250 + (51{,}250 - 52{,}500) \\ &= 0 \text{ galones} \end{aligned}$$

El inventario de productos terminados crece hasta llegar a 11,250 galones al final del primer trimestre. Los inventarios se reducen en el segundo y tercer trimestres, porque la producción es inferior a la demanda agregada. En el cuarto trimestre, los inventarios se reducen aún más, hasta que se agotan completamente, porque la demanda sigue excediendo a la producción. Con los niveles de producción constantes, el inventario de productos terminados se elevan y reducen para amortiguar las diferencias entre demanda agregada y niveles de producción de un periodo al siguiente.

FIGURA 9.4 NIVELAR CAPACIDAD: CON INVENTARIOS, CON PEDIDOS PENDIENTES DE SURTIR Y CON TIEMPO EXTRA O SUBCONTRATACIÓN

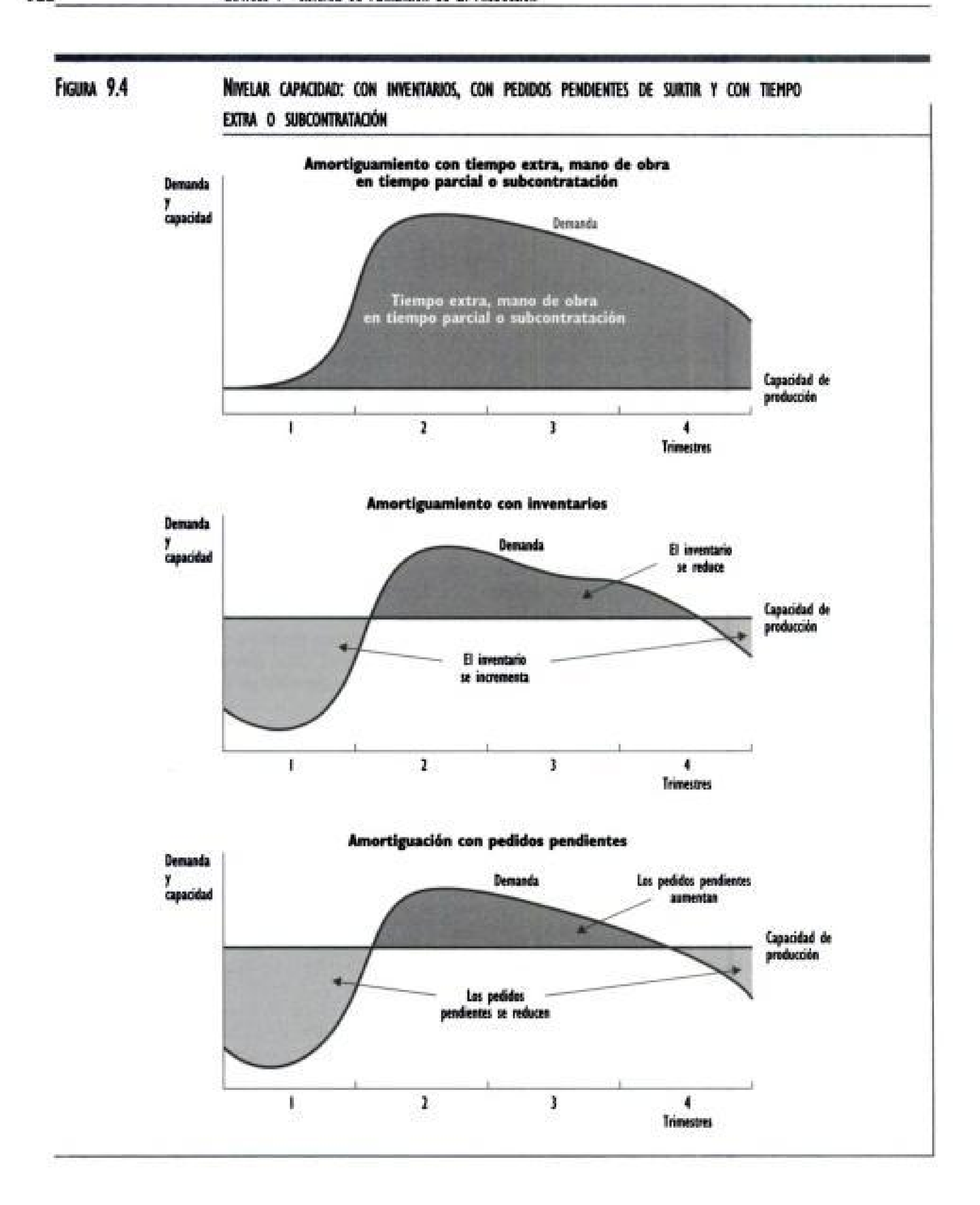
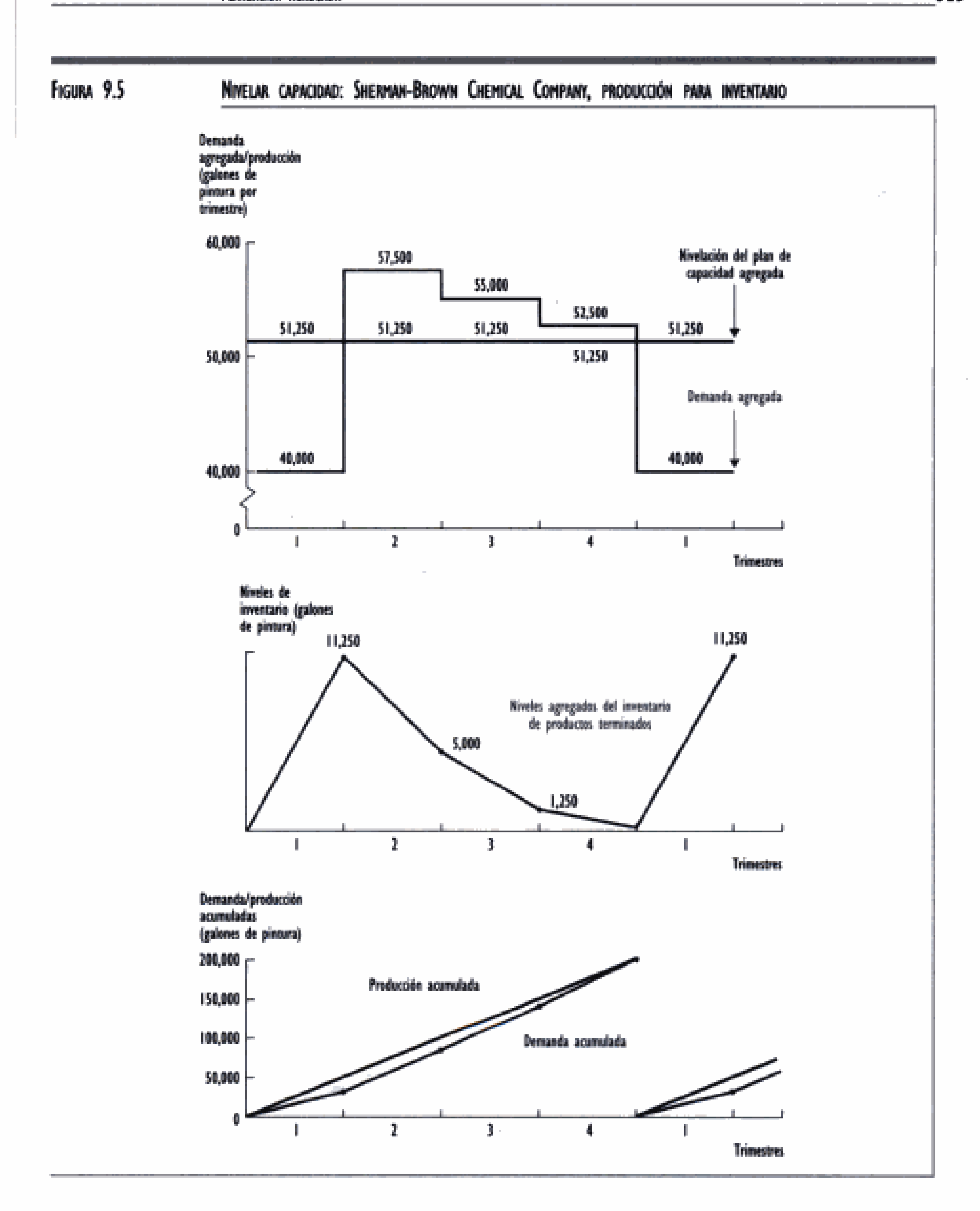


FIGURA 9.5 NIVELAR CAPACIDAD: SHERMAN-BROWN CHEMICAL COMPANY, PRODUCCIÓN PARA INVENTARIO



La ventaja principal de nivelar la capacidad con inventarios es que este procedimiento generalmente promueve bajos costos de producción, debido a: 1) se eliminan los costos de contratación, de capacitación y de despido de trabajadores, y por uso del tiempo extra; 2) se minimiza el costo de ubicar y desarrollar nuevas fuentes de suministros de materiales; 3) sólo se utiliza la maquinaria de producción más eficiente; 4) son bajos los costos por producto de mano de obra y de materiales, ya que la operación rítmica del sistema de producción ha eliminado arranques y paradas continuas en las operaciones; 5) se simplifica la supervisión y se reducen los porcentajes de desperdicio porque los trabajadores adquieren experiencia en sus puestos; 6) pudiera resultar menor la rotación y el absentismo voluntarios. Los japoneses utilizan al máximo el principio de nivelar la capacidad, dando como resultado niveles estables de empleo, rotación y absentismo reducidos, mejores niveles de calidad y un compromiso mayor de los empleados hacia los objetivos de la empresa. En breve, *los gerentes de operaciones prefieren este procedimiento porque los costos de operación tienden a ser bajos, la calidad de los resultados a ser altos y consistentes, y las tasas de producción generalmente confiables. Los gerentes financieros, sin embargo, típicamente no prefieren esta alternativa porque da como resultado niveles de inventarios de productos terminados más elevados, atando así el efectivo e incrementando el costo de acarrear estos inventarios.* Los costos de acarreo son reales y la solución a este conflicto dependerá, finalmente, del intercambio existente entre costos adicionales de acarreo y ahorros por mano de obra y materiales resultantes de nivelar capacidad como un plan agregado.

Amortiguación con pedidos pendientes. En empresas que producen sobre pedido, los pedidos pendientes de fabricar tienen como propósito amortiguar la diferencia entre una tasa variable de demanda y una tasa constante de producción. Una lista de pedidos de clientes pendientes es simplemente una pila de pedidos de clientes recibidos, pero todavía no producidos ni embarcados. La figura 9.6 muestra como operaría un plan de nivelar capacidad si Sherman-Brown Chemical Company fuera una empresa que produce sobre pedido. La empresa establecería su capacidad de producción constante, igual a la demanda promedio trimestral de 51,250 galones, y permitiría que los pedidos pendientes de surtir fueran la diferencia entre la tasa variable de demanda y la constante de producción.

La lista de pedidos pendientes al final de cada trimestre se determina a partir de esta fórmula:

$$EBL_t = EBL_{t-1} + (D_t - P_t)$$

donde:

EBL_t = pedidos pendientes de surtir al final del trimestre t

EBL_{t-1} = pedidos pendientes de surtir en el trimestre t − 1, que es el trimestre anterior

P_t = Producción del trimestre t

D_t = Demanda en el trimestre t

Si se supone que los pedidos pendientes de surtir suman 11,250 galones al principio del trimestre 1, los pedidos pendientes de surtir al final de cada uno de los trimestres se calcula como sigue:

$$\begin{aligned} EBL_1 &= EBL_0 + (D_1 - P_1) \\ &= 11{,}250 + (40{,}000 - 51{,}250) \\ &= 0 \text{ galones} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} EBL_3 &= EBL_2 + (D_3 - P_3) \\ &= 6{,}250 + (55{,}000 - 51{,}250) \\ &= 10{,}000 \text{ galones} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} EBL_2 &= EBL_1 + (D_2 - P_2) \\ &= 0 + (57{,}500 - 51{,}250) \\ &= 6{,}250 \text{ galones} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} EBL_4 &= EBL_3 + (D_4 - P_4) \\ &= 10{,}000 + (52{,}500 - 51{,}250) \\ &= 11{,}250 \text{ galones} \end{aligned}$$

Durante el primer trimestre, la lista de pedidos pendientes se reduciría porque la demanda es inferior a la capacidad de producción; en los trimestres restantes, la lista de pendientes se elevaría, ya que la demanda excede a la capacidad de producción.

Nivelar capacidad con pedidos pendientes de surtir es lo preferido por gerentes de operaciones, por las mismas razones que nivelar capacidad con inventarios: bajos costos de producción, alta y consistente calidad en los productos y tasas confiables de producción resultantes. Las empresas de producción sobre pedido por lo general fabrican productos bajo diseño según el cliente. Estas empresas pudieran tener dificultades en el desarrollo de planes agregados de capacidad en razón a la diversidad de los productos. El problema se hace un poco más sencillo si la empresa tiene una lista grande de pedidos pendientes de los clientes, porque los productos se pueden diseñar y la producción puede planearse con suficiente anticipación para que se pueda planear la capacidad agregada de la producción.

FIGURA 9.6 NIVELAR CAPACIDAD: SHERMAN-BROWN CHEMICAL COMPANY, PRODUCCIÓN SOBRE PEDIDO

Amortiguación con tiempo extra o con subcontratación. Otro procedimiento para la planeación de la capacidad agregada es utilizar la mano de obra en tiempo ordinario para proporcionar durante el horizonte de planeación la capacidad de producción igual a la tasa mínima pronosticada de demanda. Entonces, el tiempo extra o la subcontratación se utilizarán para suministrar cualquier demanda por encima de este mínimo. Este procedimiento de planeación agregada de la capacidad puede emplearse ya sea por empresas que producen para inventario o empresas que producen sobre pedido.

Hay dos ventajas principales con este procedimiento: no se lleva inventario de los productos terminados y no existe contratación, despido ni recontratación del personal. Esto da como resultado bajos costos de acarreo de inventario y niveles estables de empleo para la fuerza de trabajo, pero también puede haber desventajas. El tiempo extra disponible puede ser insuficiente para cumplir con la demanda si los picos de ésta son demasiado elevados. También, un uso continuo de tiempo extra puede fatigar a los trabajadores, lo que a su vez puede llevar a un deterioro laboral, a problemas con la calidad del producto y servicio y a otras dificultades.

CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE PLANES AGREGADOS

El ejemplo 9.1 compara dos planes de capacidad agregados: nivelar capacidad con inventarios y hacer coincidir la demanda. En ambos planes, se calcula la cantidad de trabajadores contratados

por año, la de trabajadores despedidos anualmente, y el nivel promedio anual de inventarios. Para cada uno de los planes también se calcula el costo de contratar y despedir trabajadores, así como el costo de acarreo de inventarios. Aunque el plan de nivelar capacidad con inventarios es el de costo más bajo en este ejemplo y por lo general es el preferido por los gerentes de operaciones, no siempre es la alternativa de costo menor. Esto podría demostrarse al incrementar los costos de acarreo de inventarios y reducir los costos de contratación y despido.

EJEMPLO 9.1

ANÁLISIS DE DOS PLANES AGREGADOS EN SHERMAN-BROWN CHEMICAL COMPANY

Sherman-Brown Chemical Company está en proceso de desarrollar un plan de capacidad agregada para el siguiente año. Se están considerando dos planes alternativos: nivelar capacidad con inventarios y hacer coincidir la demanda. Estos planes se describieron en la Instantánea Industrial 9.1 y en las figuras 9.2, 9.3 y 9.5. Para cada uno de los planes, determine el costo de acarreo del inventario, de contratar o de volver a llamar a trabajadores, y de despedirlos. Suponga que el patrón de la demanda trimestral se repite de un año al siguiente, que a principios del trimestre 1 actualmente están empleados 228 trabajadores, y que el inventario inicial es igual a cero.

SOLUCIÓN

Primero, calcule para ambos planes la cantidad de trabajadores contratados, la de trabajadores despedidos y el inventario promedio durante el año.

(1) Plan agregado	(2) Trimestre	(3) Demanda agregada (galones)	(4) Producción planeada (galones)	(5) Trabajadores requeridos $\frac{(4) \times 2.311}{8 \times 65}$	(6) Trabajadores contratados	(7) Trabajadores despedidos	(8) Adición o reducción (de inventarios) [(4) − (3)]	(9) Inventario inicial (galones)	(10) Inventario final (galones)	(11) Inventario promedio por trimestre (galones) $\frac{(9) + (10)}{2}$	(12) Inventario promedio al año (galones) $\frac{\Sigma(11)}{4}$
Capacidad nivelada con inventario	1	40,000	51,250	228			11,250	0	11,250	5,625	
	2	57,500	51,250	228			(6,250)	11,250	5,000	8,125	4,375
	3	55,000	51,250	228			(3,750)	5,000	1,250	3,125	
	4	52,500	51,250	228			(1,250)	1,250	0	625	
Demanda coincidente	1	40,000	40,000	178		56		0	0	0	
	2	57,500	57,500	256	78			0	0	0	0
	3	55,000	55,000	245		11		0	0	0	
	4	52,500	52,500	234		11		0	0	0	

A continuación, calcule los costos anuales de ambos planes:

(1) Plan agregado	(2) Cantidad total anual de trabajadores contratados	(3) Cantidad total anual de trabajadores despedidos	(4) Promedio anual de inventarios (galones)	(5) Costo de contratación anual [(2) × $250]	(6) Costo de despidos anual [(3) × $300]	(7) Costo anual de acarreo del inventario [(4) × $5.00]	(8) Costo total anual incremental de operación [(5) + (6) + (7)]
Nivelar capacidad	0	0	4,375	$ 0	$ 0	$21,875	$21,875
Hacer coincidir la demanda	78	78	0	19,500	23,400	0	42,900

Los **costos de contratación** típicamente incluyen costos incurridos durante el proceso de contratación, la capacitación de nuevos trabajadores y el costo de productos desperdiciados, mientras los trabajadores están aprendiendo sus puestos. Los **costos por despido,** por lo general, incluyen pagos por liquidación, beneficios por desempleo, etcétera.

Aunque el ejemplo 9.1 sólo considera dos planes agregados alternos, en la práctica podrían existir varias otras alternativas. Por ejemplo, días extra por semana, turnos adicionales por día, turnos de más de ocho horas, tiempo extra y subcontratación, pudieran suministrar la capacidad requerida cada trimestre. El ejemplo 9.2 compara dos planes agregados alternativos diferentes para Sherman-Brown. Ambos planes utilizan ya sea tiempo extra o subcontratación para reforzar una fuerza de trabajo en tiempo ordinario constante. Como ilustra el ejemplo, se pueden utilizar muchos factores, algunos de cuyos efectos sobre costos y utilidades resultan difíciles de cuantificar para evaluar los planes agregados.

EJEMPLO 9.2

NIVELAR CAPACIDAD CON TIEMPO EXTRA O CON SUBCONTRATACIÓN

Sherman-Brown Chemical Company ha estado pensando en conservar sólo los suficientes trabajadores en tiempo ordinario por trimestre para producir 40,000 galones. Se utilizaría entonces la subcontratación o el tiempo extra para suministrar la diferencia entre la capacidad de producción en tiempo ordinario de 40,000 galones por trimestre y la muy variable demanda trimestral. Sherman-Brown proveerá los materiales y tiene ya cotización de un subcontratista para un precio de 19.50 dólares por galón por cada galón suministrado. Dicho subcontratista ha garantizado que puede suministrar hasta 20,000 galones trimestrales. El sindicato de Sherman-Brown está dispuesto a trabajar tanto tiempo extra como sea necesario para evitar usar el subcontratista. El costo del pago por tiempo extra es de 9.5 dólares por hora trabajada. **a.** Calcule el costo por tiempo extra y el costo de subcontratación por trimestre para los dos planes agregados. **b.** ¿Qué factores son importantes para decidir entre ambos planes?

SOLUCIÓN

a. Primero calcule el volumen de pintura que tendría que suministrarse, ya sea por tiempo extra o por subcontratación, y determine el costo de cada uno de los planes alternos:

(1) Trimestre	(2) Demanda agregada (galones)	(3) Galones a suministrarse mediante tiempo extra o subcontratación [(2) − 40,000]	(4) Costo del tiempo extra [(3) × 2.311 × 9.50]	(5) Costo de subcontratación [(3) × 19.50]
1	40,000	0	$ 0	$ 0
2	57,500	17,500	384,204	341,250
3	55,000	15,000	329,318	292,500
4	52,500	12,500	274,431	243,750
			Total $987,953	$877,500

b. ¿Qué factores serían importantes para decidir entre ambos planes?

1. Los costos desarrollados en la tabla anterior son ciertamente un factor de importancia.
2. También es importante el mantenimiento de relaciones positivas entre gerencia y sindicato. Si los trabajadores dicen que desean trabajar el tiempo extra que fuera necesario, entonces permitir que lo laboren aportaría un factor positivo para negociaciones futuras. Los beneficios de este factor se deben ponderar en función al costo adicional del tiempo extra, en comparación con la subcontratación.
3. La fatiga, reducción en la moral y mayores costos serían el resultado final de trabajar continuamente demasiado tiempo extra. Este factor sería un costo adicional que tendría que agregarse al factor 2 arriba citado.

4. La calidad del producto pudiera o no ser mejor con el plan de tiempo extra, ya que toda la producción sería interior y bajo el control directo de Sherman-Brown.
5. La flexibilidad de poder incrementar o reducir el nivel de producción en cualquier trimestre parecería ser aproximadamente igual en ambas alternativas. Sin embargo, si se selecciona la alternativa de la subcontratación, se podría utilizar el tiempo extra para incrementar todavía más la producción. Por otra parte, si se decide por la alternativa del tiempo extra, sería más fácil disminuir los niveles de producción, reduciendo dicho tiempo extra.

PLANES AGREGADOS PARA SERVICIOS

Algunos sistemas de servicio efectúan la planeación agregada prácticamente de la misma manera que en el caso de Sherman-Brown. De hecho, en algunos sistemas que suministran servicios estándar a clientes, la planeación agregada incluso puede resultar más simple que en sistemas que elaboran productos. Ejemplos de estas situaciones de planeación agregada en sistemas de servicio son los restaurantes, las empresas de autotransporte, las aerolíneas y los bancos. El ejemplo 9.3 ilustra la planeación de capacidad agregada en una empresa de fletes aéreos.

EJEMPLO 9.3

PLANEACIÓN DE LA CAPACIDAD AGREGADA EN QUICK CARGO AIR FREIGHT COMPANY

La terminal central de Quick Cargo Air Freight Company recibe flete aéreo de todo el territorio de Estados Unidos y las redistribuye a aeroplanos también para su embarque a todos los destinos estadounidenses. La empresa garantiza el embarque de un día para otro de todos los paquetes, por lo que debe haber suficiente personal disponible para procesar la carga que llegue. La empresa tiene ahora 24 empleados trabajando en la terminal. La demanda pronosticada de trabajadores de almacén para los siguientes siete meses es 24, 26, 30, 28, 28, 24 y 24. Cuesta 2,000 dólares contratar y 3,500 dólares despedir a cada trabajador. Si se utiliza tiempo extra para suministrar mano de obra excedente a la fuerza de trabajo presente, costará el equivalente de 2,600 dólares más por cada trabajador adicional. ¿Debería la empresa nivelar la capacidad con tiempo extra o hacer coincidir la demanda para los siguientes seis meses?

SOLUCIÓN

El costo de mano de obra en tiempo ordinario puede despreciarse para fines de comparación de ambos planes, ya que estaría incluido en ambos. El análisis gira alrededor del tiempo extra del plan de nivelar contra el costo de contratar y despedir trabajadores, en el plan de hacer coincidir la demanda.

Primero, determine el costo de tiempo extra en el plan de nivelar capacidad:

(1) Meses	(2) Cantidad de trabajadores pronosticados	(3) Costo de mano de obra en tiempo extra [(2) − 24] × \$2,600
1	24	0
2	26	\$ 5,200
3	30	15,600
4	28	10,400
5	28	10,400
6	24	0
7	24	0
	Costo de tiempo extra	\$41,600

A continuación, determine el costo de contratación y despido del plan de hacer coincidir la demanda:

(1) Mes	(2) Cantidad de trabajadores requeridos	(3) Cantidad de trabajadores contratados	(4) Cantidad de trabajadores despedidos	(5) Costo de los trabajadores contratados [(3) × $2,000]	(6) Costo de trabajadores despedidos [(4) × $3,500]
0	24				
1	24	0	0	0	0
2	26	2		$ 4,000	
3	30	4		8,000	
4	28		2		$ 7,000
5	28	0	0	0	0
6	24		4		14,000
7	24				
			Costo	$12,000	$21,000

El costo total de hacer coincidir la demanda es el costo de contratar y despedir trabajadores, es decir $12,000 + $21,000 = $33,000. El costo del plan de hacer coincidir la demanda es inferior al plan de nivelar capacidad con tiempo extra, y sería la elección adecuada.

Algunos sistemas que prestan servicio a la medida a clientes, experimentan la misma dificultad que los talleres de tareas en la especificación de la naturaleza y la extensión de los servicios que se van a realizar para cada cliente. Ejemplos de estos sistemas son los hospitales, los centros de servicio de cómputo y los talleres de hojalatería automotriz. Otro factor de complicación en muchos de estos sistemas de servicio a la medida es que, a diferencia con los talleres de tareas, el cliente pudiera ser parte integral del sistema de producción y aumentar o disminuir la capacidad de producción puede modificar directamente la percepción de calidad de los servicios entregados. Ejemplo de estos servicios son los pequeños colegios y universidades particulares, los restaurantes exclusivos, los clubes privados, y las clínicas privadas de salud.

También de particular preocupación para gerentes que deben planear niveles de capacidad para los sistemas de servicio es la ausencia de inventarios de productos terminados como amortiguador entre la capacidad del sistema y la demanda de los clientes. Pero aun así, es posible utilizar planes de nivelar capacidad, si el tiempo extra o los empleados de tiempo parcial pueden aprovecharse para amortiguar la diferencia entre la tasa variable de la demanda y la tasa constante de la producción. Esto es particularmente cierto en servicios directos de trabajador a cliente, donde no hay productos que se procesen, almacenen o se transfieran. Ejemplos de estos sistemas son los servicios fiscales, los legales, los de ambulancias de emergencia y los servicios contra incendio. Otras técnicas también alientan el empleo de planes de nivelar la capacidad. Por ejemplo, el uso de la programación de citas tiende a nivelar picos y valles en la demanda de clínicas médicas, facilitando así los planes de nivelar la capacidad. De manera similar, los cajeros automáticos de los bancos facilitan los planes de nivelar la capacidad. A pesar de estas innovaciones, muchos de estos sistemas deben desarrollar planes de capacidad para que casi coincidan con la demanda agregada esperada.

En los sistemas que entregan servicios estándar, se llevaría a cabo una planeación de capacidad agregada como en el ejemplo 9.3. En los servicios diseñados a la medida, sugeriríamos un procedimiento de dos pasos para planeación agregada. Primero, desarrolle pronósticos de demanda agregada en alguna unidad de medida homogénea como por ejemplo horas de mano de obra, capacidad de máquina o dólares de venta. Segundo, trate de descubrir unidades de capacidad con un denominador común, que resulten útiles en la transformación de la demanda agregada en requerimientos de recursos de producción. Esta experimentación pudiera ser necesaria para desarrollar estos factores de conversión. Después, si la primera sugerencia no es factible, desarrolle innovaciones alternas para expandir la flexibilidad de las capacidades de los recursos de producción. Ejemplos de estas innovaciones son trabajadores eventuales a los que se les llama durante periodos de demanda pico, máquinas y edificios que se pueden activar durante periodos de demanda pico, subcontratistas que responden con rapidez y supervisores retirados que desean trabajar solamente tiem-

TABLA 9.2 **MODELOS MATEMÁTICOS PARA LA PLANEACIÓN AGREGADA**

1. **Programación lineal.** E. H. Bowman fue uno de los primeros en aplicar la programación lineal a la programación agregada.[a] Los modelos de programación lineal buscan minimizar los costos totales de operación a lo largo del horizonte de planeación e incluyen costos tales como de mano de obra en tiempo ordinario, en tiempo extra, por subcontratación, por contratación de trabajadores, por despido de trabajadores y de acarreo de inventarios. Las restricciones de los modelos por lo general incluyen factores como capacidad máxima disponible en cada periodo por trabajadores en tiempo ordinario, trabajadores en tiempo extra, subcontratistas y trabajadores nuevos y la demanda agregada mínima acumulada durante el horizonte de planeación.
2. **Reglas lineales de decisión (LDR,** por sus siglas en ingles). Holt, Modigliani, Muth y Simon del Carnegie Institute of Technology fueron los primeros en utilizar este procedimiento.[b] Las LDR desarrollan una función matemática cuadrática de costo, que incluye estos costos: nómina normal, contratación, despido, tiempo extra, acarreo de inventarios, pedidos pendientes o agotamiento de inventarios y gastos de cambios. La función cuadrática matemática compuesta del costo se resuelve mediante el cálculo o por métodos de programación cuadrática. La solución proporciona la cantidad de trabajadores a contratar o despedir, las horas de tiempo extra requeridas, fluctuaciones esperadas en inventarios y los cambios de máquinas.
3. **Búsqueda por computadora.** Este procedimiento examina secuencialmente miles de combinaciones de recursos de producción (mano de obra en tiempo ordinario, tiempo extra, despidos, contrataciones y subcontratistas) en cada periodo para satisfacer la demanda agregada acumulada durante un horizonte de planeación. Este método utiliza reglas preprogramadas que controlan la forma en que se pueden combinar los recursos para seleccionar un plan de capacidad a bajo costo para cada periodo.

[a]Bowman, E. H. "Production Planning by the Transportation Method of Linear Programming". *Journal of Operations Research Society* 4 (febrero de 1956): 100–103.

[b]Holt, Charles C., Franco Modigliani, John F. Muth, y Herbert A. Simon. *Planning Production, Inventories, and Work Force.* Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1960.

po parcial y que pueden ser llamados durante periodos breves. Estos recursos de reserva proporcionan a los gerentes de operaciones un plan de capacidad agregada prácticamente a nivel, con capacidad adicional necesaria para responder a las oscilaciones de la demanda.

MODELOS MATEMÁTICOS PARA LA PLANEACIÓN AGREGADA

Conforme aumenta el uso de computadoras y crecen las disciplinas de investigación de las operaciones, se han desarrollado varios métodos para la planeación agregada. Estos métodos buscan diseñar planes de capacidad para sistemas de producción que logren los objetivos de las organizaciones dentro de la disponibilidad de los recursos de producción y de las restricciones de la demanda agregada. En la tabla 9.2 aparece una breve descripción de tres de estos métodos. El ejemplo 9.4 ilustra el procedimiento de programación lineal aplicado a la planeación agregada.

Los modelos matemáticos en la planeación agregada todavía no dominan la práctica de la administración de la producción y de las operaciones, pero usted debería conocer estas técnicas, ya que sus procedimientos son útiles para estructurar la forma en que pensamos y encaramos estos complejos problemas. En el futuro, los modelos se harán importantes para la planeación de la capacidad.

EJEMPLO 9.4

USO DE LA PROGRAMACIÓN LINEAL PARA ANALIZAR UN PROBLEMA DE PLANEACIÓN AGREGADA

Un programador de producción debe desarrollar un plan agregado para los siguientes dos trimestres del próximo año. La planta automatizada produce terminales gráficas para el mercado de computadoras. La empresa estima que durante el primer trimestre es necesario embarcar 700 terminales a los clientes y 3,200 en el segundo trimestre. La producción de cada terminal toma un promedio de cinco horas de mano de obra y están disponibles sólo 9,000 horas de mano de obra en tiempo ordinario en cada trimestre. Se puede utilizar tiempo extra, pero la empresa tiene un política de limitar ese tiempo extra de cada trimestre a 10% de la mano de obra disponible. Los costos por mano de obra son de 12 dólares por hora en tasa ordinaria y de 18 dólares por hora en tasa extra. Si en un trimestre se produce una ter-

minal y se embarca en el siguiente, se incurre en un costo de acarreo de 50 dólares. ¿Cuantas terminales deberán producirse en tiempo ordinario y extraordinario en el primero y segundo trimestres para minimizar la mano de obra en tiempo ordinario, la mano de obra en tiempo extra y los costos de acarreo? Formule este problema de planeación agregada como uno de planeación lineal. Defina las variables de decisión, formule la función objetivo y las funciones de restricción. ¿Cuál es la solución del problema? ¿Cuál es el plan agregado?

SOLUCIÓN

Formule el problema de planeación agregada como un problema de programación lineal. Defina las variables de decisión:

X_1 = Cantidad de terminales a producirse en tiempo ordinario y embarcarse durante el primer trimestre

X_2 = Cantidad de terminales a producirse en tiempo extra en el primer trimestre y a embarcarse en el primer trimestre

X_3 = Cantidad de terminales a producirse en tiempo ordinario en el primer trimestre y embarcarse en el segundo trimestre

X_4 = Cantidad de terminales a producirse en tiempo extra durante el primer trimestre y embarcarse en el segundo trimestre

X_5 = Cantidad de terminales a producirse en tiempo ordinario en el segundo trimestre y embarcarse en el segundo trimestre

X_6 = Cantidad de terminales a producirse en tiempo extra en el segundo trimestre y embarcarse en el segundo trimestre

Los coeficientes de la función objetivo se calculan como sigue:

$$\begin{array}{llll} X_1: & 5 \times 12 = \$\,60 & X_4: & (5 \times 18) + 50 = \$140 \\ X_2: & 5 \times 18 = 90 & X_5: & 5 \times 12 = 60 \\ X_3: & (5 \times 12) + 50 = 110 & X_6: & 5 \times 18 = 90 \end{array}$$

$$\begin{aligned} \text{Mín } Z = {} & 60X_1 + 90X_2 + 110X_3 + 140X_4 + 60X_5 + 90X_6 \\ & X_1 + X_2 \geq 700 \quad Q_1 \text{ demanda} \\ & X_3 + X_4 + X_5 + X_6 \geq 3{,}200 \quad Q_2 \text{ demanda} \\ & 5X_1 + 5X_3 \leq 9{,}000 \quad Q_1 \text{ mano de obra en tiempo ordinario} \\ & 5X_5 \leq 9{,}000 \quad Q_2 \text{ mano de obra en tiempo ordinario} \\ & 5X_2 + 5X_4 \leq 900 \quad Q_1 \text{ mano de obra en tiempo extra} \\ & 5X_6 \leq 900 \quad Q_2 \text{ mano de obra en tiempo extra} \end{aligned}$$

La solución a este problema de programación lineal es:

X_1 = 580 terminales a producirse en tiempo ordinario en el primer trimestre y embarcarse durante el primer trimestre

X_2 = 120 terminales a producir en tiempo extra durante el primer trimestre y embarcarse durante el primer trimestre

X_3 = 1,220 terminales a producirse en tiempo ordinario durante el primer trimestre y embarcarse durante el segundo trimestre

X_4 = 0 terminales a fabricarse en tiempo extra durante el primer trimestre y embarcarse durante el segundo trimestre

X_5 = 1,800 terminales a producirse en tiempo ordinario durante el segundo trimestre y embarcarse durante el segundo trimestre

X_6 = 180 terminales a producirse en tiempo extra durante el segundo trimestre y embarcarse durante el segundo trimestre

S_5 = 300 horas de mano de obra de tiempo extra sin utilizar durante el primer trimestre
Z = 304,000 dólares costo total de mano de obra en tiempo ordinario y extra y costo de acarreo del plan agregado

S_1, S_2, S_3, S_4, y S_6 = 0

TÁCTICAS PRIORITARIAS

En nuestro análisis de la planeación agregada, pudiera parecer que la administración no puede afectar los patrones de la demanda y que ocuparse de picos y de valles de la demanda es parte necesaria de la planeación agregada. Aunque esto puede ser cierto en parte, la administración puede dedicarse a actividades que reduzcan picos y valles extremos de la demanda. A menudo, las empresas anuncian precios con descuento en vigor durante valles en la demanda y precios de carga pico más elevados durante picos en la demanda. Estas tácticas de precios tienden a motivar a los clientes a colocar menos pedidos durante periodos de demanda pico y más pedidos durante periodos de valles en la demanda. Similarmente, las empresas pueden influenciar a los clientes utilizando tácticas como promociones de 13 por docena, facturación retrasada y embarques libres de flete durante periodos de demanda baja. De esta forma, la demanda de los clientes se hace más uniforme y la planeación agregada se simplifica.

Hemos analizado los principios, problemas y técnicas principales de la planeación agregada: el desarrollo de planes de capacidad de rango medio para sistemas de producción. Estos planes afectan directamente la programación cotidiana de productos y servicios. El programa maestro de producción es el punto de partida de estos programas cotidianos.

PROGRAMA MAESTRO DE PRODUCCIÓN

El **programa maestro de producción (MPS**, por sus siglas en inglés) establece el volumen final de cada producto que se va a terminar cada semana del horizonte de producción a corto plazo. Los productos finales son productos terminados o componentes embarcados como productos finales. Los productos finales pueden embarcarse a clientes o ponerse en inventario. *Los gerentes de operaciones se reúnen semanalmente para revisar los pronósticos del mercado, los pedidos de clientes, los niveles de inventarios, la carga de las instalaciones y la información de capacidad, de manera que puedan desarrollarse los programas maestros de producción.* El MPS es un plan de producción futura de los artículos finales durante un horizonte de planeación a corto plazo que, por lo general, abarca de unas cuantas semanas hasta varios meses.

OBJETIVOS DEL PROGRAMA MAESTRO DE PRODUCCIÓN

Como quedó ilustrado en la figura 9.1, la capacidad de producción a corto plazo está limitado por el plan de capacidad agregado. El programa maestro de producción toma esta capacidad de producción a corto plazo, determinada por el plan agregado y la asigna a pedidos de productos finales. Los objetivos del programa maestro de la producción son dos:

1. Programar productos finales para que se terminen con rapidez y cuando se hayan comprometido ante los clientes.
2. Evitar sobrecargas o subcargas de las instalaciones de producción, de manera que la capacidad de producción se utilice con eficiencia y resulte bajo el costo de producción.

BARRERAS TEMPORALES EN LOS PROGRAMAS MAESTROS DE PRODUCCIÓN

Los programas maestros de producción se pueden considerar como divididos en cuatro secciones, cada una de ellas separada por un tiempo al que se conoce como **barrera temporal.** La primera parte incluye las semanas iniciales del programa y se identifica como "congelada"; la parte subsecuente, de las siguientes semanas, se conoce como "en firme"; la siguiente, de unas cuantas semanas, se conoce como "completa"; y la última parte, también de pocas semanas, como "abierta".

"Congelada" significa que esta primera parte del programa maestro de producción no puede modificarse, excepto bajo circunstancias extraordinarias y sólo con autorización de los niveles más elevados de la organización. Por lo general, los cambios en esta sección del programa están prohibidos, ya que sería muy costoso revertir los planes de adquisición de materiales y de producción de piezas de los productos. Lo que es más, cuando modificamos el programa maestro de producción, movemos un pedido para colocarlo delante de otro ¿Por qué dejar contento a un cliente a expensas de dejar descontento a otro? "En firme" significa que puede haber cambios en esta sección, pero sólo en situaciones excepcionales. En esta sección se evita el cambio en la programación por las mismas razones que en la sección "congelada". "Completa" significa que se ha asignado a los pedidos toda la capacidad de producción disponible. Se pueden hacer cambios en la sección completa del programa, afectando sólo ligeramente a los costos de producción, pero no es muy seguro cuál será el efecto en la satisfacción del cliente. "Abierta" significa que no se ha asignado toda la capacidad de producción, y es en esta sección que normalmente se acomoda la programación de nuevos pedidos.

Procedimientos para el desarrollo de programas maestros de producción

La figura 9.7 ilustra el proceso para el desarrollo del programa maestro de producción. Trabajando con los pedidos de los clientes, los pronósticos, los informes del estado de los inventarios y con información de la capacidad de la producción, los programadores colocan los pedidos más urgentes en el espacio disponible del programa maestro de producción. Y en ese punto ocurren varias actividades de importancia. Primero, los programadores deben estimar la demanda total de productos de todas las fuentes, asignar pedidos a espacios en la producción, hacer compromisos de entrega a clientes y realizar los cálculos detallados para el programa maestro de producción. El ejemplo 9.5 ilustra cómo un programador puede sumar demandas y hacer los cálculos detallados para un programa maestro de producción. Las actividades de entradas de pedidos y de promesas de pedidos se analizan en la sección de administración de la demanda, que aparece a continuación.

Ejemplo 9.5

Desarrollo de un programa maestro de producción

Una empresa produce dos productos A y B, con base en fabricación para inventario. La demanda para los productos provienen de muchas fuentes. Las estimaciones de demanda para ambos productos, en las siguientes seis semanas, se dan a continuación:

Demandas de producto A de todas las fuentes

	Demanda semanal (cantidad de productos A)					
Fuentes de demanda	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Pedidos dentro de la compañía				20	10	10
Pedido de almacenes sucursales			20			
Pedidos de investigación y desarrollo			10	10		
Demandas de los clientes (pronósticos y pedidos a la mano)	20	20	20	20	20	20
Demanda total para el producto A	20	20	50	50	30	30

Demandas de producto B de todas las fuentes

	Demanda semanal (cantidad de productos B)					
Fuentes de demanda	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Pedidos dentro de la compañía			10		10	
Pedidos de almacenes sucursales				20		
Pedidos de investigación y desarrollo					10	10
Demanda de los clientes (pronósticos y pedidos a la mano)	30	30	30	20	20	20
Demanda total para el producto B	30	30	40	40	40	30

La existencia de seguridad es el nivel mínimo planeado de inventarios. La existencia de seguridad para A es 30 y para B es 40. El tamaño fijo de lote (lote o conjunto, y el tamaño del lote se produce al efectuarse una corrida de producción) para A es de 50 y para B es de 60. El inventario inicial para A es de 70 y para B de 50. Prepare un programa maestro de producción para estos productos.

SOLUCIÓN

Para cada producto, tome la demanda total, tome en cuenta el inventario inicial, determine en qué semanas el inventario final caería por abajo de la existencia de seguridad (SS, por sus siglas en inglés) y, por lo tanto, se necesitaría producción y durante esas semanas programe un lote de productos.

Programa maestro de producción (cantidad de productos A y B)

Producto final		Semanas					
		1	2	3	4	5	6
A	Demanda total	20	20	50	50	30	30
	Inventario inicial	70	50	30	30	30	50
	Producción requerida	—	—	50	50	50	50
	Inventario final	50	30	30	30	50	70
B	Demanda total	30	30	40	40	40	30
	Inventario inicial	50	80	50	70	90	50
	Producción requerida	60	—	60	60	—	60
	Inventario final	80	50	70	90	50	80

Nota: Las existencias de seguridad son 30 para A y 40 para B, los tamaños fijos de lote son 50 para A y 60 para B, y el inventario inicial de la semana 1 es 70 para A y 50 para B.

Veamos más de cerca los cálculos del producto A en el programa maestro de la producción que se ve arriba. Siga estos cálculos y compárelos con el programa maestro de producción:

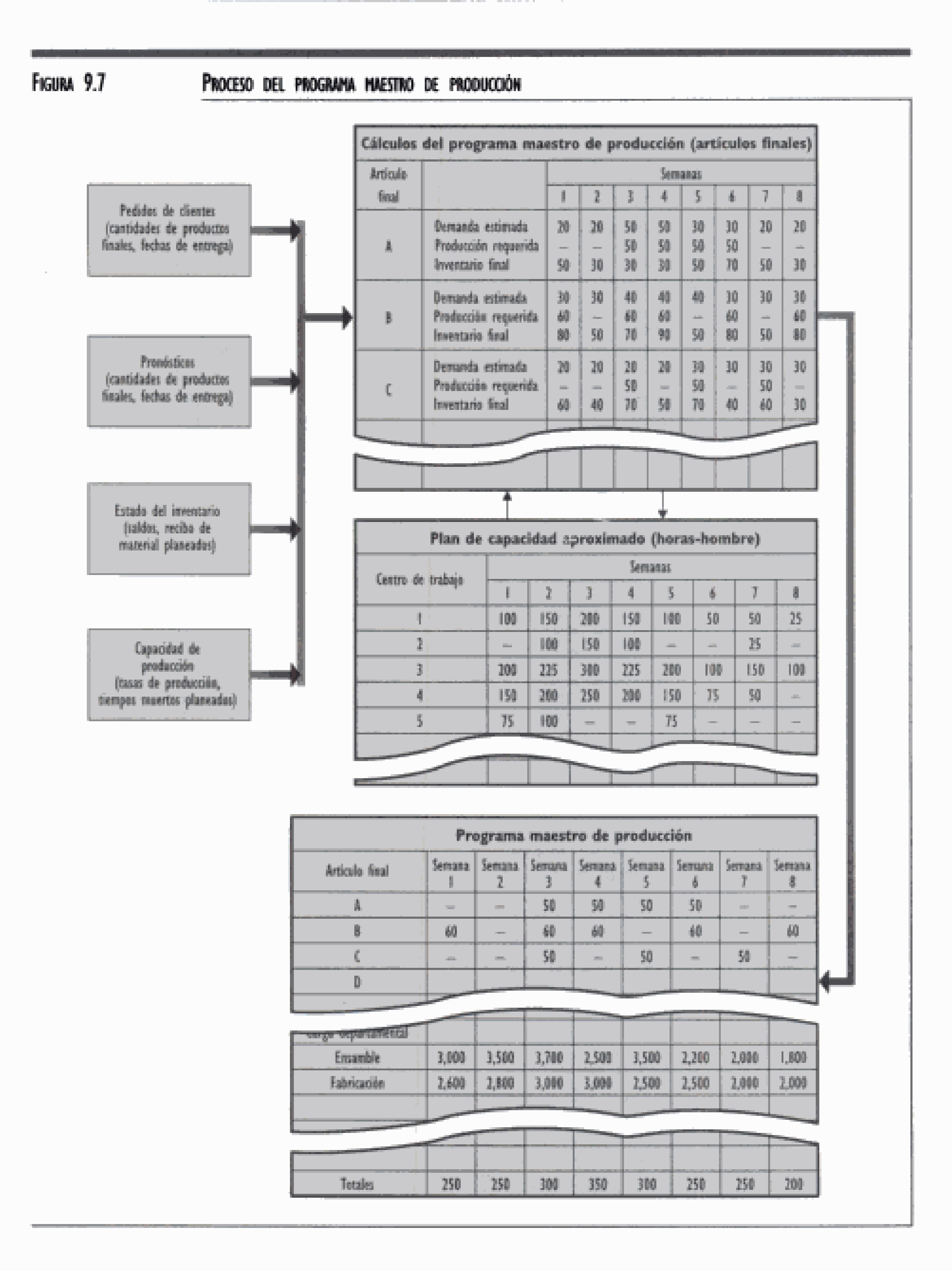
(1) Semana	(2) Inventario inicial	(3) Demanda total	(4) Saldo [(2) − (3)]	(5) Producción requerida [lote fijo si la columna (4) es menor que la existencia de seguridad; de lo contrario, cero]	(6) Inventario final [(2) + (5) − (3)]
1	70	20	50	—	50
2	50	20	30	—	30
3	30	50	(20)	50	30
4	30	50	(20)	50	30
5	30	30	0	50	50
6	50	30	20	50	70

Nota: Para el producto A, la existencia de seguridad es 30, el tamaño fijo de lote es 50 y el inventario inicial en la semana 1 es 70.

En la semana 1, el saldo excede al inventario de seguridad deseado (50 > 30); por lo tanto, no es necesaria la producción de A. En la semana 2, el saldo sigue siendo suficiente para tener la existencia de seguridad deseada (30 = 30) y no se requiere producción de A, pero en las semanas 3 y 4, los saldos serían negativos si no se programara producción de A, por lo que en ambas semanas se programa un tamaño fijo de lote de 50 productos A. Las semanas 5 y 6 se calculan de manera similar.

Conforme se van introduciendo pedidos en el programa maestro de producción, se va revisando el efecto de la carga sobre los centros de trabajo de producción. Esta revisión preliminar del programa maestro de producción se conoce como **planeación aproximada de capacidad.** El objetivo principal de la planeación aproximada de la capacidad es identificar cualquier semana, en el programa maestro de producción, donde ocurre subcarga o sobrecarga de la producción y se revisa el programa maestro de la producción, según se requiera. **Subcarga** significa que no se ha pro-

FIGURA 9.7 PROCESO DEL PROGRAMA MAESTRO DE PRODUCCIÓN



Cálculos del programa maestro de producción (artículos finales)

Artículo final		Semanas							
		1	2	3	4	5	6	7	8
A	Demanda estimada	20	20	50	50	30	30	20	20
	Producción requerida	—	—	50	50	50	50	—	—
	Inventario final	50	30	30	30	50	70	50	30
B	Demanda estimada	30	30	40	40	40	30	30	30
	Producción requerida	60	—	60	60	—	60	—	60
	Inventario final	80	50	70	90	50	80	50	80
C	Demanda estimada	20	20	20	20	30	30	30	30
	Producción requerida	—	—	50	—	50	—	50	—
	Inventario final	60	40	70	50	70	40	60	30

Plan de capacidad aproximado (horas-hombre)

Centro de trabajo	Semanas							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	100	150	200	150	100	50	50	25
2	—	100	150	100	—	—	25	—
3	200	225	300	225	200	100	150	100
4	150	200	250	200	150	75	50	—
5	75	100	—	—	75	—	—	—

Programa maestro de producción

Artículo final	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
A	—	—	50	50	50	50	—	—
B	60	—	60	60	—	60	—	60
C	—	—	50	—	50	—	50	—
D								
Ensamble	3,000	3,500	3,700	2,500	3,500	2,200	2,000	1,800
Fabricación	2,600	2,800	3,000	3,000	2,500	2,500	2,000	2,000
Totales	250	250	300	350	300	250	250	200

gramado producción suficiente de productos finales para cargar completamente la instalación. **Sobrecarga** significa que se ha programado demasiada producción de productos finales en la instalación y que no hay suficiente capacidad para producir el programa maestro de producción. El ejemplo 9.6 ilustra cómo se puede hacer la planeación aproximada de capacidad.

EJEMPLO 9.6

PLANEACIÓN APROXIMADA DE CAPACIDAD

La empresa del ejemplo 9.5 desea determinar si el programa maestro de producción desarrollado subcarga o sobrecarga la línea de ensamble final que produce tanto el producto A como el producto B. La línea de ensamble final tiene una capacidad semanal de 100 horas disponibles. Cada producto A requiere de 0.9 horas y cada producto B requiere de 1.6 horas de capacidad de ensamble final. **a.** Calcule las horas de ensamble final reales requeridas para elaborar el programa maestro de producción correspondiente a ambos productos; esto a menudo se conoce como *carga*. Compare la carga con la capacidad de ensamble final disponible en cada semana para el total de seis semanas; con frecuencia esto se llama *planeación aproximada de capacidad.* **b.** ¿Existe suficiente capacidad de ensamble final para producir el programa maestro de producción? **c.** ¿Qué cambios en el programa maestro de producción recomendaría?

SOLUCIÓN

a. Calcule la carga en cada una de las semanas y para las seis semanas y compare la carga con la capacidad de ensamble final:

Producto final		**Horas semanales de ensamble final**						
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**Total**
A	Producción	—	—	(50)	(50)	(50)	(50)	
	Horas de ensamble final	—	—	45	45	45	45	
B	Producción	(60)	—	(60)	(60)	—	(60)	
	Horas de ensamble final	96	—	96	96	—	96	
Carga (horas)		96	—	141	141	45	141	564
Capacidad (horas)		100	100	100	100	100	100	600

Nota: Las cifras entre paréntesis son los productos finales a producir cada semana y provienen del programa maestro de producción del ejemplo 9.5.

b. Durante el programa de seis semanas, hay disponible un total de 600 horas de ensamble final y el programa maestro de producción sólo requiere un total de 564 horas. Sin embargo, el programa maestro de producción sobrecarga el ensamble final durante las semanas 3, 4 y 6, y subcarga el ensamble final en las semanas 1, 2 y 5.

c. Es posible un mejor equilibrio de la capacidad semanal de ensamble final si una parte de los lotes de producción se traslada a semanas anteriores del programa. Mueva lotes del producto A de las semanas 4 y 6 hacia las semanas 3 y 5 y mueva el lote del producto B de la semana 3 a la 2:

Producto final		**Horas semanales de ensamble final**						
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**Total**
A	Producción	—	—	(100)	—	(100)	—	
	Horas de ensamble final	—	—	90	—	90	—	
B	Producción	(60)	(60)	—	(60)	—	(60)	
	Horas de ensamble final	96	96	—	96	—	96	
Carga (horas)		96	96	90	96	90	96	564
Capacidad (horas)		100	100	100	100	100	100	600

Nota: Las cifras entre paréntesis son cantidades de productos finales a producir cada semana.

Este programa maestro de producción revisado cargaría mejor la línea de ensamble final, aunque al producir dichos lotes se crearía algo de inventario adicional.

Administración de la demanda

La estimación de la demanda futura es parte vital del programa maestro de producción. La American Production and Inventory Control Society (APICS) describe lo anterior como **administración de la demanda,** que se define como "la función de reconocer todas las demandas de productos y servicios para apoyar al mercado. Involucra hacer lo que se necesite para ayudar a que ocurra la demanda y a dar la prioridad adecuada, cuando los suministros están faltando. La administración de la demanda facilita la planeación del uso de recursos para resultados rentables. Abarca la actividad de pronóstico, captura de pedidos, promesa de pedidos y determinación de requerimientos de los almacenes, pedidos entre plantas y requerimientos de componentes de servicio".[1] La administración de la demanda incluye el establecimiento de un sistema efectivo de pronóstico para productos finales, el monitoreo de los pronósticos y la modificación del sistema, según se requiera, para mejorar los pronósticos.

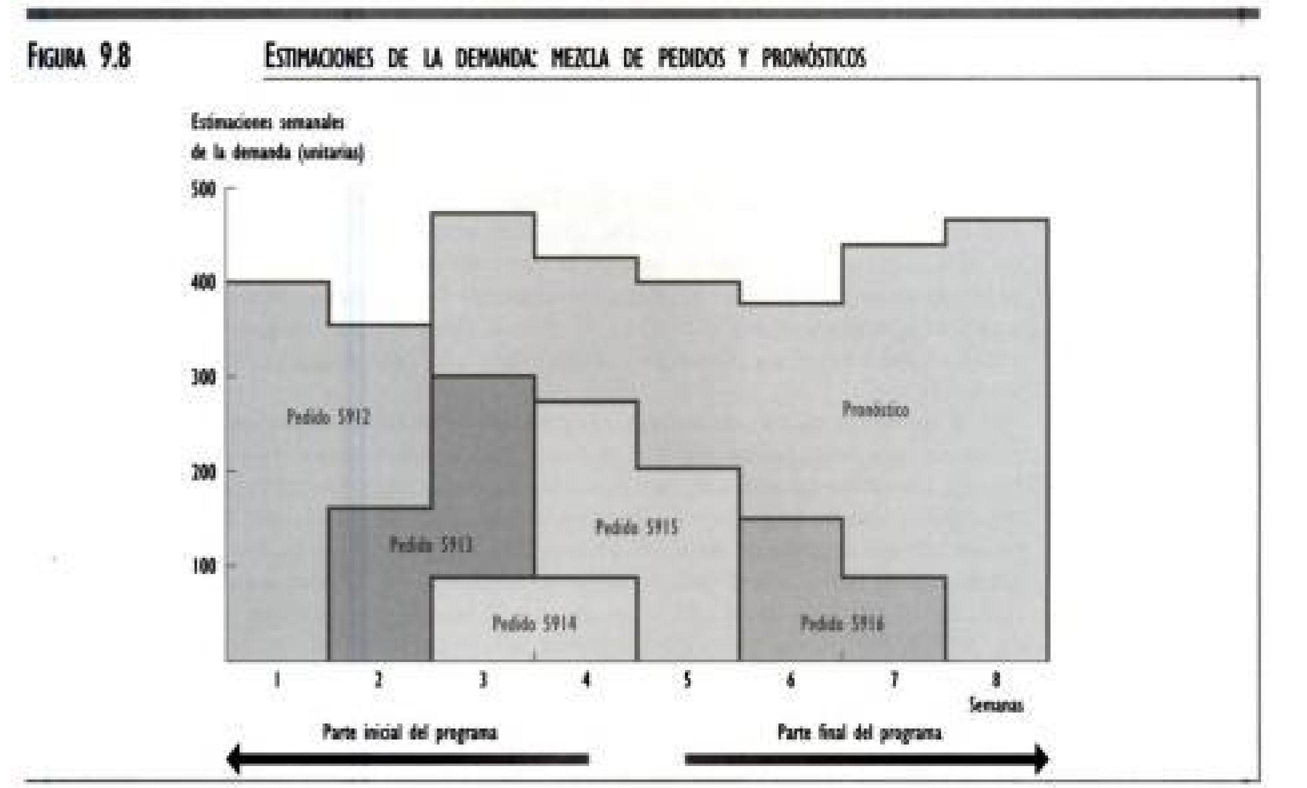
La **entrada o captura de pedidos** y **la promesa de pedidos** son funciones importantes en el programa maestro de producción. Los programadores maestros deben revisar los pedidos de los clientes, comprobar las fechas de entrega solicitadas contra los huecos para producción abiertos en el programa maestro de producción, determinar la prioridad de los pedidos, asignarles huecos de producción en el programa maestro de producción y comunicar a los clientes las fechas de compromiso. Cada fecha de compromiso guía a un pedido a través de procesos y de producción y se convierte en una meta importante de los gerentes de operaciones hasta que se entrega al cliente. Los pedidos entre plantas provienen del interior de la empresa. Mercadotecnia solicita muestras de productos para obsequiarlas a los clientes como promoción. Investigación y desarrollo ordena productos para su utilización en pruebas, y los almacenes de las sucursales solicitan productos. Las piezas para servicio por lo general se piden a través de distribuidores para utilizarse en trabajos de garantía o de reparación; los pedidos para estas piezas se tratan en el programa maestro de producción como otros pedidos de cliente, excepto que las piezas se consideran como productos finales y, por lo tanto, llegan a formar parte del programa maestro de producción.

Actualización semanal del programa maestro de producción

Para comprender realmente la naturaleza de la administración de demanda, debemos comprender la naturaleza dinámica del programa maestro de producción. Por lo general, el programa maestro de producción se actualiza semanalmente, lo que quiere decir que una vez que ha transcurrido una semana, se quita una semana de la parte delantera del programa maestro de producción y se agrega otra al final, y las demandas de todo el programa se estiman nuevamente. Dado que las demandas de pedidos posteriores al programa maestro de producción probablemente se modificarán conforme sufran muchas actualizaciones en la parte final del programa maestro, no resultan tan críticas como en la primera parte. También, la primera parte del programa maestro tiende a estar dominada por pedidos de clientes reales, en tanto que la parte final tiende a estar dominada por pronósticos, por lo que las estimaciones finales de la demanda de la primera parte del programa maestro de producción son, por naturaleza, más precisas.

La figura 9.8 ilustra este principio. En las semanas 1 y 2 la estimación de la demanda está conformada totalmente por pedidos; en la semana 8, la estimación de la demanda está conformada totalmente por pronósticos. A mitad del programa, la estimación es una combinación de pedidos reales y de pronósticos, pero los pronósticos se hacen más predominantes conforme pasamos a periodos posteriores. A través del proceso semanal de actualización, las estimaciones de demanda de los periodos posteriores al programa maestro de producción, que se basan principalmente en pronósticos, se mueven hacia adelante en el programa y estas estimaciones se hacen más precisas por dos razones. Primero, gran parte de la demanda basada en pronósticos se basa en pedidos de clientes, y segundo, los pronósticos se afinan a través del proceso semanal de actualización. Semana tras semana, conforme se actualiza el programa maestro de producción, los pedidos entran y modifican los pronósticos, y todo esto ocurre antes que se comprometa dinero para solicitar materiales, programar trabajadores y cambios de máquina. Llegado el momento en que el pedido pasa a la primera porción "congelada" del programa maestro de producción y deba comprometerse dinero en el pedido, los gerentes de operaciones pueden confiar mucho más en la precisión de las estimaciones de demanda.

FIGURA 9.8 ESTIMACIONES DE LA DEMANDA: MEZCLA DE PEDIDOS Y PRONÓSTICOS



EL PROGRAMA MAESTRO DE PRODUCCIÓN EN EMPRESAS QUE FABRICAN PARA EXISTENCIAS Y EMPRESAS QUE LO HACEN SOBRE PEDIDO

Los procedimientos de programación maestra de producción difieren según si la empresa utiliza un sistema de fabricar para existencias o de hacerlo sobre pedido. Los elementos del programa maestro de producción más afectados por el sistema de producción son la **administración de demanda, el tamaño de los lotes y la cantidad de productos a programar.**

En los sistemas de producción sobre pedido, los pedidos de los clientes son el centro predominante en la administración de la demanda. Generalmente, el programador maestro de producción trabaja a partir de una lista de pedidos pendientes y no puede utilizar pronósticos de demanda del producto. Los pedidos de los clientes en la lista de pendientes se asignan a huecos abiertos en la producción, como se describió anteriormente en la sección de administración de demanda. Por lo general, el tamaño del lote, es decir, la cantidad de unidades a producir de un pedido, quedan determinados por el pedido del cliente. Si un pedido solicita 500 piezas de un producto en particular, por lo general se producirán 500 de estos productos. Este procedimiento para determinar el tamaño de los lotes se conoce como **lote por lote (LFL,** por sus siglas en inglés).

En las empresas que producen para existencias, las órdenes de los productos provienen principalmente de pedidos de los almacenes dentro de la empresa. Estos pedidos se basan en pronósticos de la demanda futura de muchos clientes. Los pronósticos, por lo tanto, tienden a jugar un papel más importante en la administración de demanda en las empresas de producción para existencia. En la parte inicial del programa maestro de producción, estos pedidos de almacén, que estaban basados en pronósticos, pueden estar respaldados por pedidos reales de los clientes. Sin embargo, en empresas que producen para existencias, los pedidos de los clientes afectan sólo indirectamente la administración de la demanda al afectar los pedidos de los almacenes.

El tamaño de los lotes en los pedidos de empresas que producen para existencias es un asunto de economía. ¿Cuánto de un producto en particular debe producirse, cuándo nos dedicamos a producirlo, de manera que el costo promedio unitario de hacerlo resulte bajo? Si producimos muy poco, el costo fijo de prepararse para producir el pedido se distribuye entre muy pocos productos y el costo promedio unitario resulta elevado. Si producimos demasiado, el inventario del producto crecerá demasiado conforme producimos el pedido, el costo de acarreo del inventario será elevado y el costo promedio unita-

rio de producción también será demasiado elevado. En las empresas que producen para existencias debe llegarse a un equilibrio entre estos costos en la determinación de los lotes económicos.

Duración de los horizontes de planeación

Los horizontes de planeación en la programación maestra pueden variar de apenas unas pocas semanas en algunas empresas, a más de un año en otras. ¿Cómo decide una empresa la duración que debe tener su horizonte de planeación? Aunque esta decisión está afectada por varios factores, uno de ellos tiende a ser dominante. *El horizonte de planeación debe ser, por lo menos, igual al tiempo de demora acumulado más largo de un producto final.* **El tiempo de demora acumulado más largo** de un producto final significa el tiempo para obtener materiales de los proveedores, producir todos los componentes y ensambles, ensamblar el producto final y dejarlo listo para su embarque y entrega a los clientes. Por lo tanto, el producto final que tenga el tiempo de demora más largo determina el tiempo mínimo que deberá abarcar un horizonte de planeación. En la práctica, generalmente los horizontes de planeación son mayores a este mínimo.

En la descripción del programa maestro de producción arriba citado a menudo se mencionaron actividades de los programadores. En algunas aplicaciones actuales del programa maestro de producción, algunas de estas actividades las realizan las computadoras.

Programa maestro de producción computarizado

El programa maestro de producción se puede preparar con asistencia de un sistema de cómputo. En estos casos, la información de la demanda de los productos finales, la información del estado de los inventarios, las restricciones en la capacidad, los pronósticos de la demanda, el tamaño de los lotes y los niveles deseados de existencias detallados de seguridad son utilizados por la computadora para hacer detallados cálculos de programación maestra de producción, comparando estas cifras con las cargas de los centros de trabajo y con las restricciones de capacidad, generando un programa maestro de producción. Cuando muchos productos finales se elaboran en varios departamentos de producción, la computadora no sólo resulta económica, sino absolutamente necesaria para procesar todos los datos.

El programa maestro de producción es el punto central en la mayoría de los sistemas computarizados de programación, independientemente si los programas están diseñados específicamente para un sistema de producción o se trata de un sistema estándar proveniente de alguna de las empresas de hardware o software. *Communications Oriented Production Information and Control Systems (COPICS)* de IBM, como se ilustra en la figura 9.9, es un ejemplo de estos sistemas computarizados de programación.[2] A pesar de que COPICS ha evolucionado y ha cambiado de nombre, sigue ilustrando la utilidad de las computadoras en la programación de la producción, su planeación y su control. COPICS y otros sistemas similares son algo más que simples sistemas computarizados de programación, ya que integran pronósticos, programación, inventarios y decisiones de compras en un gran sistema de información para planear y controlar todas las facetas del sistema de producción.

Cuando el programa maestro de producción se realiza correctamente, se desarrollan relaciones positivas con los clientes, se mantienen bajos los niveles de inventarios, porque los artículos finales correctos se producen en cantidades correctas, y se utilizan plenamente los recursos de producción. Además, el programa maestro de producción impulsa todos los sistemas de planeación y control de la producción que analizaremos a continuación.

Tipos de sistemas de planeación y control de producción

Una vez terminado un programa maestro de producción, se conocerá cuándo y cuántos productos de cada tipo se embarcarán. La forma en que una organización de producción planea y controla la adquisición de materiales, la fabricación de piezas y ensambles, y el trabajo necesario para la producción de los productos depende del tipo de sistema de planeación y control de producción que se utilice. Aquí describiremos cuatro procedimientos de planeación y control de producción: agotamiento de depósito, sistemas de empujar, sistemas de jalar y el procedimiento que se enfoca en cuellos de botella.

Sistema de agotamiento de depósito

En el **procedimiento de agotamiento de depósito** a la planeación y control de la producción, el énfasis se hace en mantener depósitos de materiales para soporte de la producción. La figura 9.10

FIGURA 9.9 COPICS

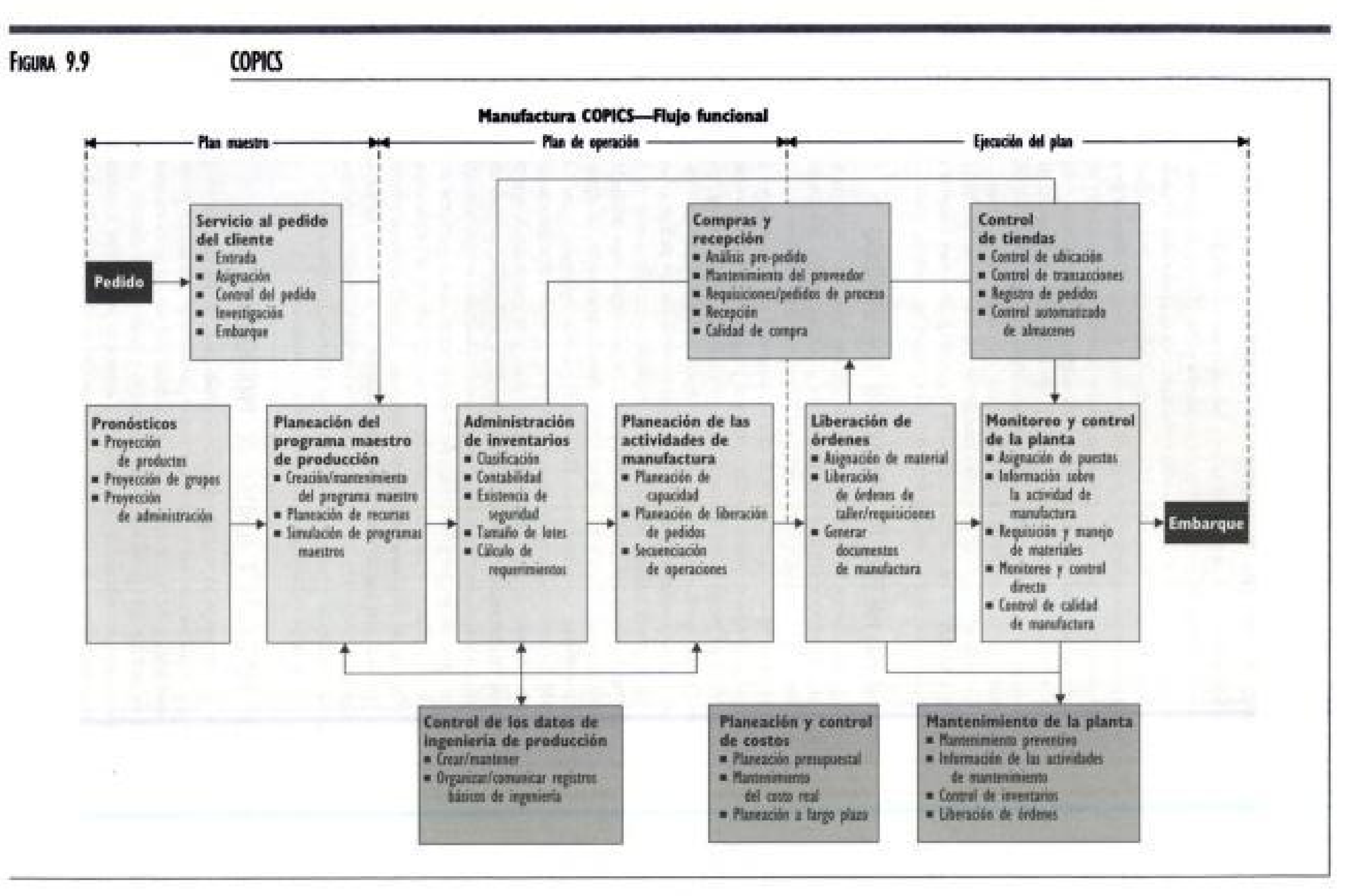
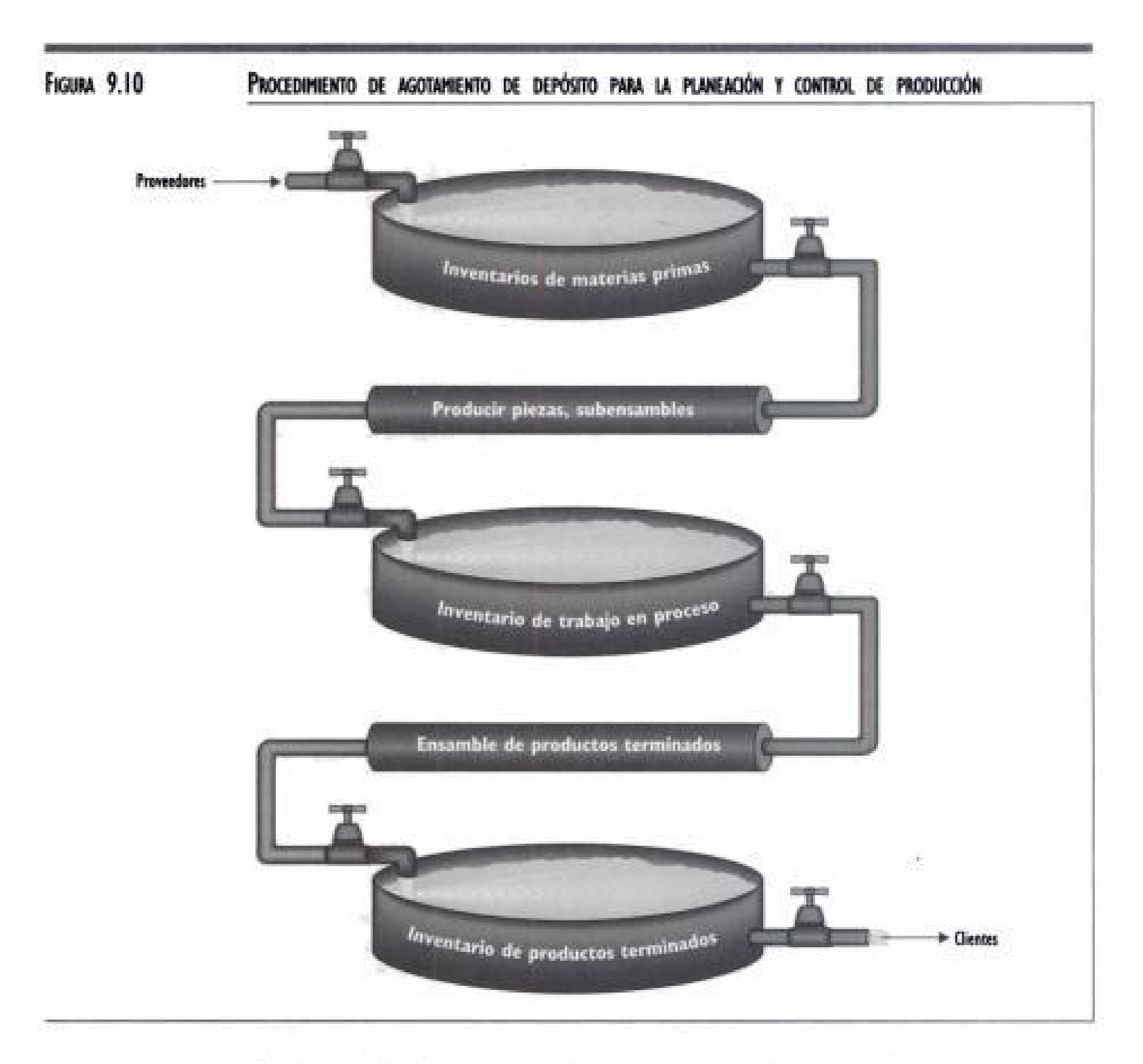


FIGURA 9.10 PROCEDIMIENTO DE AGOTAMIENTO DE DEPÓSITO PARA LA PLANEACIÓN Y CONTROL DE PRODUCCIÓN



describe quizás el sistema de planeación y control de la producción más simple. El procedimiento de agotamiento de depósito opera con poca información, pasando a través de la cadena de producción, de los clientes a la producción y a los proveedores. Dado que los productores pudieran no saber los tiempos y el valor de la demanda del cliente, muchos productos de cada tipo se fabrican antes de tiempo y se almacenan en un inventario de productos terminados. Conforme se efectúan embarques a los clientes, se va agotando el inventario del depósito de bienes terminados y el ensamble final fabrica más, agotando piezas y subensambles que se fabricaron con antelación y se conservaron en un inventario de trabajo en proceso. Conforme el inventario de trabajo en proceso se va reduciendo, se producen más piezas y subensambles al ir agotando el inventario de materias primas. Conforme el inventario de materias primas se reduce, se colocan pedidos con los proveedores, solicitando más materias primas. Si una empresa opera con base en producir sobre pedido, en vez de una base de producir para existencias, tal y como se observa en la figura 9.10, la lista de pedidos pendientes de los clientes reemplazaría al depósito de inventario de los bienes terminados.

Aunque probablemente es cierto que los actuales sistemas de información y comunicación han hecho obsoleta esta forma simplista de planeación y control de la producción, los principios de este procedimiento se siguen aplicando en algunas empresas. *Un sistema de agotamiento de depósito puede utilizarse en una producción enfocada al producto o al proceso, y requiere de poca*

información compleja sobre clientes, proveedores y producción. Por otra parte, este tipo de sistema puede llevar a inventarios excesivos y es bastante inflexible para responder a las necesidades de los clientes. Este procedimiento tiende a funcionar mejor cuando la demanda de los productos es verdaderamente aleatoria. Las políticas de pedidos de materias primas y de inventarios de productos terminados son vitales para los sistemas de agotamiento de depósito. Estudiaremos estas políticas en el capítulo 10, Sistemas de inventarios de demanda independiente. Este tipo de sistema es el marco de referencia para el análisis de otros tipos de sistemas de planeación y control de producción.

Sistemas de empujar

En un sistema de empujar, el énfasis se hace en el uso de información sobre clientes, proveedores y producción para la administración de los flujos de materiales. Se planea que los lotes de materias primas lleguen a la fábrica aproximadamente cuando se necesiten para la fabricación de lotes de piezas y subensambles. Éstos se fabrican y entregan al ensamble final aproximadamente cuando se requieren, y los productos terminados se ensamblan y embarcan aproximadamente cuando los clientes los necesitan. *Los lotes de materiales se empujan hacia las puertas traseras de las fábricas uno después de otro, lo que a su vez empuja a otros lotes a través de todas las etapas de la producción. Estos flujos de materiales se planean y controlan mediante una serie de programas de producción que indican cuándo cada lote de cada producto en particular debe salir de cada una de las etapas de la producción.* "Se trata de un **sistema de empujar:** Fabrique las piezas y envíelas donde se necesitan a continuación, o si no, al inventario, empujando así el material a través de la producción de acuerdo con el programa."[3]

Veamos cómo se vería un programa de este tipo. Si una orden de 500 productos debe embarcarse a un cliente el 30 de agosto y se necesita aproximadamente una semana para pasar a través de las cuatro etapas de producción, el programa sería como sigue:

Etapa de producción	Fecha de inicio	Fecha de terminación
Adquisición del material	3 de agosto	9 de agosto
Producir el juego de piezas	10 de agosto	16 de agosto
Fabricar los subensambles	17 de agosto	23 de agosto
Ensamble final	24 de agosto	30 de agosto

En los sistemas de empujar, la capacidad de producir productos, cuando se han prometido a los clientes, depende de la precisión de los programas que, a su vez, dependen en gran medida de la precisión de la información sobre la demanda del cliente y de los tiempos de entrega: cuánto tiempo necesitarán los pedidos para pasar por las etapas de la producción. Estudiaremos más sobre cómo preparar este tipo de programas en el capítulo 11, Sistemas de planeación de requerimientos de recursos.

Los sistemas de empujar han dado como resultado grandes reducciones en inventarios de materias primas y una mayor utilización de trabajadores y máquinas, en comparación con los sistemas de agotamiento de depósito, particularmente en producciones enfocadas a procesos.

Sistemas de jalar

En los sistemas de jalar de la planeación y control de la producción, el énfasis que se hace en cada una de las etapas de la producción es en la reducción de los niveles de inventario. En los sistemas de empujar, estudiamos el programa para determinar qué es lo que debemos producir a continuación. En los sistemas de jalar, vemos sólo la siguiente etapa de la producción y determinamos qué es lo que se necesita allí, y entonces sólo producimos eso. Como dice Hall, "jamás usted hace algo y lo envía a ninguna parte. Alguien tiene que llegar y recibirlo".[4] Los productos pasan directamente de etapas aguas arriba de la producción a las etapas aguas abajo, con pocos inventarios entre etapas, por lo que las materias primas y las piezas se extraen de la parte trasera de la fábrica hacia la parte delantera, donde se convierten en productos terminados. Aunque conocida de muchas maneras, el nombre comúnmente aceptado es **manufactura justo a tiempo** (JIT, por sus siglas en inglés).

JIT requiere que los gerentes de operaciones estén intensamente involucrados en la solución de problemas en el piso del taller. Con inventarios en proceso reducidos a su mínimo, cada uno de los

materiales debe cumplir los estándares de calidad, cada pieza debe llegar exactamente en el momento prometido y precisamente en el lugar que se supone debe estar, y cada máquina debe funcionar como se pretende, sin descomposturas. De lo contrario, las interrupciones a la producción serían intolerables. En los sistemas JIT, por lo tanto, se hace un enorme esfuerzo para eliminar permanentemente cada problema conforme aparece, de forma que la producción no vuelva a interrumpirse por ese problema. Por esta razón, los gerentes de operaciones no abordan JIT superficialmente.

Antes que JIT tenga éxito deben ocurrir ciertos cambios en la fábrica en la forma en que es administrada. Para simplificar la producción, los niveles de producción deben mantenerse relativamente constantes durante largos periodos. Esto se puede lograr utilizando el inventario para amortiguar la diferencia entre la variabilidad en la demanda y nivelar la capacidad de la producción, o de lo contrario, los gerentes deben entrar en tácticas prioritarias para nivelar la demanda de productos de los clientes (en este capítulo ya analizamos estas tácticas). También, debe reducirse drásticamente el trabajo requerido para cambiar las máquinas a otros productos. De no lograrlo, la gran cantidad de pequeños lotes de producto requeridos en JIT resultaría exorbitante en costos por cambio.

Las aplicaciones exitosas de JIT ocurren predominantemente en fábricas pequeñas, más bien enfocadas, y en manufactura repetitiva. La manufactura repetitiva significa la producción de bienes estandarizados a lo largo de líneas de producción. La complejidad de los talleres de tareas es un obstáculo al uso de JIT. Los proponentes de JIT alegan tener éxito en talleres de tareas, porque se puede hacer que muchas operaciones se comporten como de manufactura repetitiva. La presencia de aplicaciones exitosas de JIT en talleres de tareas parece apoyar este punto de vista.

Los beneficios de los programas JIT son tan importantes que no es de extrañar que JIT sea tan popular. Inventarios más reducidos, entrega más rápida de productos, mejor calidad del producto y menores costos de producción son argumentos verdaderamente poderosos para convertir algunos sistemas de empujar a sistemas de jalar. JIT es un procedimiento tan importante para la manufactura actual, que el capítulo 14 está totalmente dedicado a este tema.

Enfoque a cuellos de botella

Algunos sistemas de planeación y control de la producción se enfocan a los cuellos de botella de la producción: operaciones, máquinas o etapas de la producción que entorpecen la producción, porque tienen una capacidad menor que las etapas aguas arriba o aguas abajo. En las operaciones en cuello de botella, los lotes de producto llegan más aprisa de lo que pueden terminarse. Por lo tanto, estas operaciones son restricciones limitantes de la capacidad, y controlan la capacidad de toda una fábrica.

Teoría de las restricciones (**TOC**, por sus siglas en inglés) El procedimiento del control de la producción de la administración de cuellos de botella, es decir, la administración de las restricciones, fue popularizada por el doctor Eliyahu Goldratt, quien se refiere a este procedimiento o filosofía como **teoría de las restricciones** (TOC) y ha presentado seminarios sobre TOC en todo Estados Unidos para todo tipo de industrias y grupos académicos. Algunas personas se refieren a esta filosofía de TOC como **manufactura sincrónica,** ya que todas las partes de una organización trabajan juntas para el logro de los objetivos y metas de la misma.



El doctor Goldratt desarrolló los conceptos de TOC en un software conocido como **tecnología optimizada de la producción** (OPT, por sus siglas en inglés). OPT sigue mejorándose y comercializándose por la Scheduling Technology Group Limited (**www.stg.co.uk**) de Londres, Inglaterra, con nuevas oficinas centrales estadounidenses en Dallas, Texas.

OPT es un sistema completo de información de planeación y control de la producción, particularmente apropiado para entornos complejos de taller de tareas. Desarrollando la cantidad de trabajo a efectuarse en cada centro de trabajo, OPT, dada una mezcla de productos, encuentra los cuellos de botella en los procesos de producción. Si un producto debe pasar a través de una serie de operaciones, independientemente de lo rápidas que sean, la capacidad del cuello de botella determinará la capacidad de toda la serie. Es en este punto que OPT muestra sus ventajas sobre otros sistemas. Una vez localizados los cuellos de botella, OPT utiliza un conjunto de algoritmos registrados para la programación de trabajadores, máquinas y herramientas en los centros de trabajo con cuellos de botella.

Para ilustrar los efectos de TOC, el doctor Goldratt y Jeff Cox escribieron *The Goal: A Process of Ongoing Improvement,* un trabajo muy claro e interesante que ilustra perfectamente la

implantación de TOC en una fábrica.[5] Alex Rogo, gerente de fábrica y personaje principal de *The Goal*, busca alguna forma de salvar su fábrica, que está a punto de ser descartada por una gerencia general ignorante e insensible. Siguiendo el consejo de Jonah, un asesor que continuamente efectúa preguntas de fácil comprensión pero con muchas respuestas difíciles, la fábrica sobrevive. Posteriormente, el doctor Goldratt escribió *It's Not Luck*, otro trabajo de ficción muy claro, un libro compañero de *The Goal*.[6] También escribió *Critical Change*, que aplica ideas TOC a la administración de proyectos.[7]

El proceso seguido por el gerente de fábrica en *The Goal* es el centro de TOC. Primero, el gerente de fábrica mide las tasas de producción de las principales operaciones de la fábrica. Descubre una operación que es mucho más lenta que las demás: un cuello de botella. A continuación, pide a un equipo de sus mejores colaboradores que diseñen formas de incrementar la tasa de producción de la operación con cuello de botella. Una vez incrementada la tasa de producción de la operación cuello de botella, se observa el incremento en la tasa de producción de toda la fábrica. El equipo entonces pasa a la siguiente operación más lenta, y se repite el proceso. El volumen de producción de la fábrica se incrementa conforme aumenta la tasa de producción de todos los cuellos de botella. Este procedimiento da como resultado un incremento en la tasa de producción de la fábrica, con poco costo adicional y con la consecuente elevación en las utilidades.

Un aspecto clave de la filosofía de TOC es la mejora continua del desempeño de la producción. En vez de utilizar las medidas contables tradicionales de costos unitarios y uso de trabajadores y equipo para medir el desempeño de la producción, se emplean las nuevas medidas de **caudal** (velocidad a la cual se genera efectivo mediante la venta de productos), inventarios (dinero invertido en inventario) y gastos de operaciones (dinero utilizado en la conversión del inventario en caudal). La idea es incrementar el caudal y reducir al mismo tiempo tanto inventarios como gastos de operación.

El sistema de control se basa en los principios de *tambor, amortiguador y cuerda*. La producción se controla en los puntos de control, es decir en los cuellos de botella, que colectivamente se conocen como **tambor**, ya que establecen el ritmo de todas las demás operaciones. El tambor proporciona un programa maestro de producción consistente con los cuellos de botella de la producción. Antes de cualquier cuello de botella se mantiene un **amortiguador** temporal bajo forma de inventario, de forma que siempre se tenga material para trabajar. Estos amortiguadores son la garantía de que es posible ofrecer compromisos de entrega a los clientes con un alto grado de contabilidad. Una **cuerda** es algún tipo de comunicación, como una calendarización que se comunica aguas arriba para evitar que se acumulen inventarios y coordina las actividades requeridas para apoyar al programa maestro de producción. La cuerda asegura que todas las etapas de la producción están sincronizadas con dicho programa.

Los principios, teoría y filosofía del TOC representan un adelanto sobre otras formas de sistemas de control y planeación de producción.



RECOPILACIÓN

LO QUE HACEN LOS PRODUCTORES DE CLASE MUNDIAL

Los productores de clase mundial son excelentes en la planeación empresarial. Con los mercados mundiales en la mira, desarrollan estrategias que les permiten capturar porciones crecientes de dichos mercados. Una planeación de la capacidad a largo plazo aporta las instalaciones de producción, los procesos y los productos para posicionar la producción, de manera que se convierta en una arma competitiva con este esfuerzo. La planeación de la producción a rango medio o la planeación agregada de la capacidad, como se conoce, permite que la producción funcione en la captura de porciones cada vez mayores de los mercados mundiales durante un horizonte de planeación de seis a 18 meses. La planeación agregada es la que aporta la fuerza de trabajo, los inventarios, las instalaciones generales y los contratos de suministros necesarios para responder rápidamente a la demanda de los clientes y, al mismo tiempo para desarrollar productos y servicios de elevada calidad y costo bajo.

Asimismo, para capturar estas porciones crecientes del mercado es necesaria una planeación excepcional de la producción a corto plazo. Los programas maestros de producción, de producción de componentes, de compras de los materiales, de piso de taller y de fuerza de trabajo forman un sistema integrado de planeación de la producción que

cubre un periodo de unas cuantas semanas a unos cuantos meses. Estos programas son los que "encaran el frente de batalla", es decir, donde verdaderamente ocurre la satisfacción del cliente, la alta calidad del producto y los costos bajos de producción. La capacidad de los sistemas de producción de desempeñarse, según sea necesario, para lograr los planes a largo plazo se reduce a detalles cotidianos para el corto plazo. Estos planes mantienen unido al sistema de producción y proporcionan coordinación detallada de todos los elementos del sistema de producción conforme se dirige hacia sus metas a largo plazo.

Los enunciados que siguen describen las tendencias actuales entre productores de clase mundial, en el uso de varios procedimientos para la planeación de la producción a corto plazo:

1. Los sistemas de empujar dominan en el presente y se pueden aplicar prácticamente a cualquier tipo de producción. En estos sistemas, los inventarios de materias primas y de productos terminados se reducen a niveles manejables, los pedidos de los clientes se monitorean cuidadosamente y se entregan a tiempo y los costos de producción se controlan. Los sistemas de empujar proporcionan un sistema de información global que apoya un mejor desempeño de la producción a corto plazo y de las decisiones administrativas.
2. Los sistemas de jalar se están utilizando cada vez más, sobre todo en manufactura repetitiva. Estos sistemas, también conocidos como justo a tiempo (JIT, por sus siglas en inglés) han tenido un éxito espectacular en algunas empresas. Los inventarios se han reducido en gran medida, los plazos de demora de producción han disminuido bruscamente, ha mejorado la calidad, los trabajadores han participado más y la producción se efectúa relativamente libre de problemas. Quizás de mayor importancia que estos beneficios directos es darnos cuenta que JIT se ha convertido en un mecanismo para enfocarse nuevamente en mejorar la producción. Incluso en los otros tipos de producción, donde se supone que los sistemas de jalar no son apropiados, la creencia de que el inventario es, de alguna forma, una manera de desperdicio, se han adoptado y aplicado con buenos resultados.
3. Algunas empresas están utilizando la teoría de las restricciones y enfocándose en los cuellos de botella para planear y controlar la producción. Sistemas como OPT, proporcionan el medio de programar inteligentemente la producción. No sólo se han obtenido resultados fenomenales en estas empresas, sino que estos sistemas también han enfocado la producción de manera que se invita a todos a involucrarse: un desarrollo que ha vigorizado algunas organizaciones de producción.

En conjunto, la planeación y control de la producción a largo, mediano y corto plazo proporcionan a la producción la capacidad de convertirse en arma competitiva para utilizarse en los negocios para la captura de porciones crecientes de los mercados mundiales.

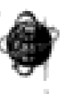


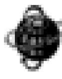
PREGUNTAS DE REPASO Y ANÁLISIS

1. ¿Qué planes a largo plazo resultan de la planeación de la capacidad a largo plazo? ¿Quién prepara estos planes?
2. ¿Qué planes resultan de la planeación de la capacidad a mediano plazo? ¿Quién prepara estos planes?
3. ¿Cuáles son los principales planes de producción a corto plazo? ¿De qué manera están relacionados? ¿Quién prepara estos planes?
4. Explique las relaciones entre planes de producción a largo, mediano y corto plazo.
5. Defina y describa planeación agregada.
6. Nombre y describa cuatro fuentes de capacidad de producción a mediano plazo.
7. Describa la forma en que los siguientes recursos de la producción pueden incrementarse o reducirse para expandir o contraer la capacidad de producción: a) la fuerza de trabajo, b) los materiales y c) las máquinas.
8. Enliste las ventajas y desventajas de los siguientes planes agregados tradicionales: a) hacer coincidir la demanda, b) nivelar la capacidad con inventarios, c) nivelar la capacidad con pedidos pendientes, d) nivelar la capacidad con tiempo extra, e) nivelar la capacidad con subcontratación y f) nivelar la capacidad con trabajadores a tiempo parcial.
9. ¿Por qué resulta difícil la planeación agregada en empresas que producen sobre pedido? ¿Qué pueden hacer los gerentes de operaciones para superar estas dificultades?
10. Mencione tres razones por las que es difícil la planeación agregada en los servicios. ¿Qué pueden hacer los gerentes de operaciones para superar estas dificultades?
11. Explique la forma en que se puede utilizar la programación lineal en la planeación agregada.
12. Explique en qué difiere la planeación agregada en empresas que producen para existencias y empresas que producen sobre pedido.
13. ¿Qué criterios deberían utilizarse para decidir entre dos planes agregados?
14. ¿Qué es un programa maestro de producción? ¿Qué insumos requiere? Describa el proceso de preparación de un programa maestro de producción.
15. Explique estos términos referentes a los programas maestros de producción: a) congelada, b) en firme,

c) completa, d) abierta, e) tamaño de lote, f) planeación aproximada de la capacidad, g) actualización, h) administración de la demanda, i) captura de pedidos y j) promesa de pedidos.
16. Explique el proceso para actualizar semanalmente el programa maestro de producción.
17. Explique por qué los gerentes de operaciones confían en las estimaciones de demanda, que se incluyen en la parte inicial del programa maestro de producción. ¿Por qué la actualización del programa maestro de producción tiende a aumentar esta confianza?
18. Explique las diferencias entre el programa maestro de producción entre empresas que producen para existencias y en organizaciones que producen sobre pedido.
19. ¿Qué determina la duración de los horizontes de planeación en la programación maestra de producción?
20. Nombre y describa cuatro tipos de sistemas de planeación y control de la producción.
21. Resuma lo que hacen los productores de clase mundial en su sistema de planeación y control de la producción.

TAREAS EN INTERNET





1. Visite el sitio de Internet para el software Optimized Production Technology (OPT) (**www.stg.co.uk**). Encuentre información sobre la última versión del software OPT. Describa algunas de las características OPT.



2. Utilice un buscador como AltaVista (**www.altavista.com**) para encontrar literatura o artículos sobre planeación agregada. Resuma brevemente la publicación e incluya la cita bibliográfica y la dirección del sitio Web.
3. Busque en Internet software que realice programas maestros de producción. Describa algunas de las características del software e incluya la dirección del sitio Web.
4. Las empresas a veces contratan empleados temporales para que ayuden a llenar sus necesidades de capacidad pico. Kelly Services Inc. es uno de los proveedores más grandes de empleados temporales en Estados Unidos. Visite su sitio Web en (**www.kellyservices.com**). Explore las páginas Web de Kelly en busca de información sobre la contratación de personal temporal en la manufactura. Resuma algunas de las ventajas declaradas del uso de personal de manufactura temporal, partiendo de los servicios que ofrece Kelly Services.

PROBLEMAS

Planeación agregada

1. Blaze Advertising es una oficina nacional que proporciona servicios de publicidad a detallistas de venta masiva de mercancías. Los servicios de la empresa entran en tres categorías: televisión, medios impresos y radio. Blazer está planeando su fuerza de trabajo para el siguiente año y estima que por cada dólar de ventas se requerirá 0.01 horas de tiempo de empleado. El pronóstico de ventas del año que viene de cada una de las categorías es:

Tipo de publicidad	Ventas (miles de dólares)			
	Primer trimestre	Segundo trimestre	Tercer trimestre	Cuarto trimestre
Televisión	$4,200	$4,500	$5,200	$4,000
Medios impresos	3,700	3,500	5,000	3,500
Radio	1,500	1,000	2,000	1,000

Si hay 2,000 horas por año por cada uno de los empleados, calcule la cantidad de empleados necesarios para cada categoría de publicidad en cada uno de los trimestres y la cantidad total de empleados que se necesita cada trimestre.

2. Una empresa tiene los siguientes pronósticos de venta y estándares de mano de obra y de máquina para sus productos:

Producto	Ventas trimestrales (cantidad de productos) Primer trimestre	Segundo trimestre	Tercer trimestre	Cuarto trimestre	Estándar de mano de obra (horas mano de obra/producto)	Estándar de máquina (horas-máquina/producto)
A	22,000	19,000	17,000	15,000	7.95	5.77
B	11,000	9,000	7,000	10,000	6.56	4.10
C	21,000	18,000	17,000	19,000	3.22	2.55
D	16,000	13,000	12,000	14,000	4.90	3.15
E	7,000	5,000	5,000	7,000	3.11	2.10

a. Calcule las horas de mano de obra requeridas por cada trimestre.
b. Calcule las horas máquina requeridas por cada trimestre.
c. Grafique la información desarrollada en los incisos a y b.

3. Una empresa está planeando la capacidad de producción agregada requerida para producir el pronóstico de ventas que aparece en esta tabla:

Resina	Pronóstico de ventas (miles de toneladas) Primer trimestre	Segundo trimestre	Tercer trimestre	Cuarto trimestre
A	9.0	10.0	12.0	14.0
B	7.0	8.0	5.0	10.0
C	6.0	3.0	4.0	7.0

Existe amplia capacidad en máquinas para producir este pronóstico y cada tonelada de resina requiere cinco horas de mano de obra.
a. Calcule la demanda agregada de resina de cada trimestre
b. Calcule el número agregado de horas de mano de obra de cada trimestre
c. Si cada trabajador trabaja 520 horas por trimestre, ¿cuántos trabajadores se requerirán cada trimestre?

4. En el problema 3, cuesta 2,000 dólares contratar un trabajador y 1,000 dólares despedirlo, y el costo de acarreo de inventarios es de 65 dólares por tonelada de resina (esto significa que si durante un año se mantuviera en inventario una tonelada de resina, costaría 65 dólares por cargos financieros, seguros, gastos de almacén, etc.). La planta trabaja la misma cantidad de días en cada uno de los trimestres, 13 semanas de cinco días. Evalúe dos planes agregados para el siguiente año: a) coincidir con la demanda y b) nivelar la capacidad mediante inventarios. ¿Qué plan recomendaría usted? ¿Por qué? Suponga que el patrón de demanda trimestral se repite de un año al siguiente y que el inventario inicial es cero.

5. Steel Fabricators está intentando decidir entre dos planes de capacidad agregados, número 1 y número 2. A continuación aparece la cantidad de trabajadores por trimestre y el inventario promedio anual de productos terminados en miles de libras para ambos planes. Si los costos de contratación son de 5,500 dólares por trabajador y los de despido son de 1,800 dólares por trabajador, y el costo de mantener el inventario es de 0.10 dólares por libra al año, calcule los costos anuales de contratación y de despido, de mantenimiento y los costos incrementales de cada uno de los planes. ¿Qué plan preferiría usted? ¿Por qué?

Plan agregado	Trimestre	Trabajadores requeridos	Inventario promedio anual (miles de libras)
No. 1	1	210	2,500
	2	200	
	3	190	
	4	200	
No. 2	1	200	3,950
	2	200	
	3	200	
	4	200	

6. En el problema 2, si las horas-máquina fueran suficientes y los empleados trabajaran 13 semanas cada trimestre y 40 horas cada semana, determine cuántos trabajadores requeriría la empresa en cada trimestre, utilizando los siguientes planes agregados: a) nivelar capacidad y b) coincidir con la demanda.

7. Fabric Inc. produce calcetines de un solo tamaño para niño. Fabric está actualmente pensando en dos planes de capacidad para el siguiente año: nivelar capacidad utilizando el inventario y coincidir con la demanda. La demanda trimestral agregada aparece a continuación para ambos planes. El estándar de mano de obra por par de calcetines es de 0.3 horas, el costo de contratación es de 500 dólares por trabajador, el costo de despido es de 250 dólares por trabajador, el costo de acarreo por bien terminado es de 1 dólar por par de calcetines al año y los días de trabajo por trimestre son 60.

Trimestre	Demanda agregada (miles de pares de calcetines)
1	350
2	500
3	900
4	400

El inventario inicial en el primer trimestre es de 137,500 pares de calcetines para el plan de nivelar la capacidad. El inventario inicial en el primer trimestre es igual a cero, para el plan de coincidir con la demanda. ¿Qué plan despliega o tiene los costos totales de operación incrementales más bajos? Suponga que el patrón de demanda trimestral se repite de un año al siguiente.

8. Una empresa está desarrollando un plan agregado de capacidad para el pronóstico de ventas que aparece a continuación

Pronósticos de ventas (productos)

Producto	Primer trimestre	Segundo trimestre	Tercer trimestre	Cuarto trimestre
1	2,000	1,500	1,600	1,800
2	1,200	1,000	800	1,000

Existe amplia capacidad de máquinas para producir este pronóstico. Cada producto 1 utiliza un promedio de 20 horas de mano de obra y cada producto 2 un promedio de 15 horas de mano de obra.

a. Calcule el número agregado de horas de mano de obra de cada trimestre
b. Si cada trabajador trabaja 520 horas por trimestre ¿cuántos trabajadores se requerirán cada trimestre?

9. En el problema 8, cuesta 1,000 dólares contratar un trabajador y 500 dólares despedirlo, y el costo de acarreo de los inventarios es de 100 dólares por cada producto 1 y de 100 dólares por cada producto 2 (esto quiere decir que, si se mantuviera en inventario durante un año el producto 1, costaría 100 dólares por lo que se refiere a cargos financieros, seguros, gastos de almacenamiento, etc.). La planta trabaja la misma cantidad de días cada trimestre, 13 semanas de cinco días. Evalúe dos planes agregados para el siguiente año: nivelar capacidad mediante inventarios y coincidencia con la demanda. El inventario inicial es 275 para el producto 1 y 200 para el producto 2 en el plan de nivelar la capacidad, y de cero para ambos productos en el plan de coincidir con la demanda. Suponga que el patrón trimestral de demanda se repite de un año al siguiente.

10. En el problema 1 se están evaluando ahora dos planes agregados en Blazer Advertising: nivelar capacidad con pedidos pendientes y coincidir con la demanda. Le cuesta a Blazer 0.20 centavos por cada dólar de venta de cualquier clase de publicidad que quede pendiente (pospuesta para terminación en fecha posterior) durante un trimestre. Si le cuesta a Acme 3,500 dólares contratar y capacitar a un empleado y 1,500 dólares despedirlo, y los pedidos pendientes iniciales en el primer trimestre son iguales a cero, ¿qué plan exhibirá el costo menor? Suponga que el patrón trimestral de demanda se repite de un año a otro.

11. Un fabricante es un productor sobre pedido enfocado a procesos. La empresa está evaluando dos planes agregados: coincidir con la demanda y nivelar la capacidad con pedidos pendientes. En el plan de nivelar la capacidad se tienen que considerar los costos trimestrales de tener pedidos pendientes:

$$\text{Costos trimestrales pendientes} = \$0.20\ (QSD - QPD)$$

donde QSD son los dólares de ventas trimestrales y QPD son los dólares de producción trimestrales. No existen costos de producción cuando QPD ≥ QSD. En el plan de coincidencia con la demanda, el costo de contratar y despedir trabajadores debe tomarse en consideración. Cuesta 2,000 dólares contratar a un trabajador y 3,000 dólares despedirlo. La información desarrollada para este análisis es la siguiente:

Plan	Trimestre	Trabajadores contratados	Trabajadores despedidos	Miles de dólares de producción	Miles de dólares en ventas
Coincidencia	Q_1	10		$1,200	$1,200
	Q_2	20		1,600	1,600
	Q_3		5	1,500	1,500
	Q_4		25	1,000	1,000
Nivelación	Q_1	0	0	$1,325	$1,200
	Q_2	0	0	1,325	1,600
	Q_3	0	0	1,325	1,500
	Q_4	0	0	1,325	1,000

¿Qué plan de capacidad agregado sería el adecuado? ¿Por qué?

12. Una empresa está intentando decidir entre dos planes agregados de capacidad: nivelar capacidad mediante tiempo extra y nivelar capacidad mediante subcontratación. Ya sea el tiempo extra o la subcontratación, suministrarían toda la demanda existente en exceso de 50,000 productos por trimestre. Un subcontratista puede suministrar cualquier cantidad de producto a 10 dólares por producto. La mano de obra de tiempo extra cuesta 9 dólares la hora más que en tiempo ordinario. Cada producto requiere un promedio de 1.25 horas de mano de obra. La demanda trimestral del producto para el año que viene es 50,000, 60,000, 55,000, y 65,000.
    a. Calcule el costo de cada plan.
    b. ¿Cuál de los factores mencionados sería de importancia al escoger entre ambos planes?

Programa maestro de producción

13. White Company es una empresa que produce para existencias y que fabrica correctores para errores de mecanografía. White desarrolla programas maestros de producción con horizontes de planeación de producción de 10 semanas para sus múltiples productos. Uno de éstos tiene un nventario inicial de 1,500 cajas, una demanda semanal constante de 1,000 cajas, un tamaño de lote de producción fijo de 2,000 cajas y una existencia de seguridad mínima de 500 cajas. Prepare los cálculos detallados del programa maestro de producción que resultan en el programa de producción del producto, bajo el supuesto de que existe amplia capacidad de producción.

14. Una empresa manufactura una línea de impresoras para computadora con base en producir sobre pedido. Cada impresora requiere un promedio de 30 horas de mano de obra y la planta de manufactura se apoya en la generación de pedidos pendientes para permitir la existencia de un plan agregado de nivelación de la capacidad. Este plan proporciona una capacidad trimestral de 9,000 horas de mano de obra. La empresa ha preparado este programa maestro de producción de cinco semanas:

	Producción semanal (impresoras)				
Producto	1	2	3	4	5
Impresoras	200	275	275	300	360

a. Calcule las horas de mano de obra reales requeridas en la planta cada semana y durante el total de cinco semanas, para producir el programa maestro de producción (que a menudo se conoce como carga). Compare la carga con la capacidad en horas de mano de obra en cada una de las semanas y para las cinco semanas (esto se conoce como planeación aproximada de la capacidad).
b. ¿Existe suficiente capacidad de producción para producir el programa maestro de producción?
c. ¿Qué cambios en el programa maestro de producción recomendaría?

15. Una empresa manufactura lectores ópticos de códigos de barra con base en producir sobre pedido. La empresa fabrica tres modelos de lectores ópticos sobre una misma línea de ensamble final. El ensamble final tiene una capacidad semanal de 20,000 horas. El programa maestro de producción de seis semanas y el estándar final de ensamble de cada uno de los modelos son:

Producto	Estándar del ensamble final (horas por lector óptico)	Producción semanal (lectores ópticos)					
		1	2	3	4	5	6
A	25	200	150	200	250	150	250
B	30	100	200	350	250	150	250
C	35	150	150	150	200	250	250

a. Calcule las horas de ensamble final reales requeridas en la planta cada semana y para el total de las seis semanas para producir el programa maestro de producción (a menudo conocido como carga). Compare la carga con la capacidad en horas de mano de obra en cada semana y durante las seis semanas (conocido como planeación aproximada de la capacidad)
b. ¿Existe capacidad de producción suficiente para cumplir el programa maestro de producción?
c. ¿Qué cambios en el programa maestro de producción recomendaría?

16. Una planta de manufactura está en proceso de actualizar su programa maestro de producción para sus productos. La planta produce un producto con base en producir para existencias. La siguiente tabla muestra la demanda del producto para las siguientes seis semanas.

Tipo de demanda	Semana					
	1	2	3	4	5	6
Clientes (pronósticos y pedidos)	700	1,200	700	500	400	1,200
Almacenes de sucursales	100	100	400	500	200	100
Investigación de mercado		50			10	
Investigación de producción	10					

El nivel de las existencias de seguridad (los inventarios no pueden reducirse por debajo del nivel de la existencia de seguridad), el tamaño mínimo de lote (por lo menos se debe producir el tamaño mínimo de lote de dicho producto) y el nivel de inventario final para el producto son:

Tamaño mínimo de lote	Existencia de seguridad	Inventario inicial
2,000	500	1,500

Prepare un programa maestro de producción de seis semanas para el producto. Suponga que en la planta existe amplia capacidad de producción.

17. Una empresa produce tres productos con base en producir para existencia. La demanda (en cajas) de estos productos durante un horizonte de planeación de ocho semanas es:

Demanda del producto	Semana							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Clientes (pronósticos y pedidos)								
A	1,000	2,000	2,000	500	1,000	2,000	1,500	500
B	3,000	2,000	2,000	5,000	7,000	6,000	4,000	4,000
C	1,500	500	500	1,500	1,000	500	500	500

Demanda del producto	Semana 1	2	3	4	5	6	7	8
Almacenes de sucursales								
A	1,500		1,500			2,000		
B	1,500		2,000			3,000		
C		1,000					500	
Investigación de mercado								
A	50			50			50	
B		50			50			50
C			50			50		

Los niveles de las existencias de seguridad (los niveles de inventario no pueden caer por debajo del nivel de la existencia de seguridad), el tamaño mínimo del lote (debe producirse por lo menos el tamaño mínimo de lote de dicho producto) y los niveles de inventarios iniciales para los productos son:

Producto	Tamaño mínimo de lote (cajas)	Existencia de seguridad (cajas)	Inventario inicial (cajas)
A	5,000	3,000	4,000
B	8,000	5,000	4,000
C	2,000	1,000	2,000

Prepare el programa maestro de producción de las siguientes ocho semanas. Suponga que existe una amplia capacidad de producción.

CASOS

PLANEACIÓN AGREGADA EN SOUND PRODUCTS COMPANY

Sound Products Company produce dos líneas de equipo estereofónico, Proline y Custom. Se han desarrollado estas dos ecuaciones de regresión para estimar las ventas trimestrales del siguiente año para ambos productos:

$$Y_{pro} = 2{,}500 - 500X$$
$$Y_{cus} = 625 + 500X$$

donde X representa al trimestre (1, 2, 3 y 4). Todos los productos deben pasar a través de la operación de soldadura de ola. Esta operación es el cuello de botella para toda la fábrica, lo que significa que entre todas las actividades de la instalación es la de menor capacidad. Existen varias máquinas de soldadura de ola en la operación y sólo se activa el número de máquinas requeridas para la producción de un trimestre; las otras se mantienen en estado desactivado. Cada máquina puede operar 200 horas por trimestre. Cuesta 10,000 dólares activar o desactivar una máquina de soldadura de ola. Cada máquina activada debe utilizarse al máximo, su uso parcial no resulta económico (redondeada al siguiente entero superior del número de máquinas). Cada producto Proline requiere de una hora de tiempo-máquina de soldadura de ola y cada producto Custom requiere 0.40 horas de tiempo-máquina. La empresa estaba intentando decidir si nivelar la capacidad o coincidir con la demanda sería el mejor plan de capacidad agregada para producción. Cuesta 50 dólares para cada producto de cualquier tipo que se coloque en la lista de pendientes o en inventario al final del trimestre. La empresa inicia el año con cero pendientes y cero inventarios. La política de la empresa, cuando la demanda excede la capacidad de la producción, es satisfacer la demanda de productos Proline dentro del mismo trimestre, antes que se satisfaga la demanda de productos Custom. Cuando la capacidad de producción excede a la demanda, con la capacidad excedente se fabrican productos Custom. Suponga que el patrón trimestral de la demanda se repita de un año a otro.

Tarea

1. Calcule en horas-máquina la capacidad agregada trimestral de soldadura de ola requerida para satisfacer la demanda de las ventas de los productos Proline y Custom.
2. Calcule la cantidad de horas requeridas de soldadura de ola por trimestre para cumplir con las demandas de las ventas para ambos productos.
3. Calcule la cantidad de la producción por arriba o por debajo de la demanda de ventas en el caso del plan de nivelar capacidad y calcule su costo anual.
4. Utilizando el plan de coincidencia con la demanda, calcule el costo anual de arranque y de parada de la operación de soldadura de ola.
5. ¿Qué plan preferiría? Justifique su decisión con tantos factores como sea posible.

PLANEACIÓN AGREGADA EN BELL COMPUTERS

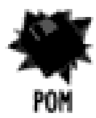

POM

Un programador de producción en Bell Computers está desarrollando un plan agregado de producción para los dos primeros trimestres del siguiente año para la producción de monitores AB1200 en su planta en Los Ángeles. El departamento de comercialización ha estimado que se necesitará embarcar a clientes 800 de los AB1200 en el primer trimestre y 1,200 en el segundo. Toma ocho horas de mano de obra producir cada una de las impresoras y solo 8,000 horas de mano de obra en tiempo ordinario están disponibles, tanto en el primero como en el segundo trimestres. Se puede utilizar mano de obra en tiempo extra para producir impresoras, pero la planta tiene una política que limita el tiempo extraordinario a 10% de mano de obra en tiempo ordinario disponible. La mano de obra cuesta 12 dólares por hora en tiempo ordinario y 18 dólares por hora en tiempo extra. Si se produce una impresora en el primer trimestre y se embarca en el segundo, la planta incurre en un costo de acarreo de 150 dólares por hora. ¿Cuántas impresoras deberán producirse con mano de obra ordinaria y extraordinaria, en cada trimestre, para minimizar los costos por mano de obra en tiempo ordinario y extraordinario, y los costos de acarreo? Deben cumplirse con los requisitos del mercado, la disponibilidad de mano de obra en tiempo ordinario, y la disponibilidad de mano de obra en tiempo extra.

Tarea

1. Formule este problema de planeación agregada como un problema de planeación lineal. Formule la función objetivo y las funciones de las restricciones. Defina las variables de decisión.
2. Resuelva este problema de programación lineal utilizando el programa *POM* ¿Cuál es la solución y qué significa dicha solución en función al problema original de planeación agregada?

PLANEACIÓN AGREGADA EN BELTWAY TRUCKING


POM

Beltway Trucking transporta flete comercial en Washington, D. C. Beltway estima que la demanda agregada trimestral del año siguiente es de 15,000, 17,500, 19,500 y 15,000 toneladas-milla. Para suministrar la capacidad para cumplir con las demandas agregadas de Beltway es posible utilizar el equipo de autotransportes propiedad de la empresa, autotransportes rentados y subcontratación:

Fuente de capacidad	Capacidad de cada fuente (toneladas-millas por trimestre)	Costo de la capacidad (tonelada-milla)
Autotransportes de la empresa		
Tiempo ordinario	0–8,000	$0.30
Tiempo extra	0–4,000	0.35
Cambios en la fuerza de trabajo	0–2,000	0.40
Autotransportes alquilados (incluyendo conductores y manejadores de la carga)	0–3,000	0.50
Subcontratación	0–5,000	0.55

Tarea

1. Formule este problema de planeación agregada en una formulación de programación lineal y defina las variables de decisión. En otras palabras, escriba cada variable de decisión y explique lo que significa una unidad de la variable.

NOTAS FINALES

1. Cox, James F., III, John H. Blackstone y Michael S. Spencer, editores. *APICS Dictionary*, 8a. edición, pág. 22. Falls Church, VA: APICS—The Educational Society for Resource Management, 1995.
2. *Communications Oriented Production Information and Control Systems (COPICS)*, Vol. 1, *Management Overview*, Publication G320-1974. White Plains, NY: International Business Machines, 1972.
3. Hall, Robert W. *Zero Inventories*, pág. 37. Homewood, IL: Dow Jones–Irwin, 1983.
4. *Ibid.*
5. Goldratt, Eliyahu M. y Jeff Cox. *The Goal: A Process of Ongoing Improvement*, 2a. edición revisada. Croton-on-Hudson, Nueva York: North River Press, 1992.
6. Goldratt, Eliyahu M. *It's Not Luck*. Croton-on-Hudson, Nueva York: North River Press, 1994.
7. Goldratt, Eliyahu M. *Critical Chain*. Croton-on-Hudson, Nueva York: North River Press, 1997.

BIBLIOGRAFÍA SELECCIONADA

Aggarwal, S. "MRP, JIT, OPT, FMS?" *Harvard Business Review* 66, no. 5 (septiembre-octubre 1985): 8–16.

Berry, William L., Thomas E. Vollmann y D. Clay Whybark. *Master Production Scheduling: Principles and Practice*. Falls Church, VA: American Production and Inventory Control Society, 1979.

Bowman, E. H. "Production Planning by the Transportation Method of Linear Programming." *Journal of Operations Research Society* 4 (febrero de 1956): 100–103.

Buffa, E. S. "Aggregate Planning for Production." *Business Horizons* 10 (otoño de 1967): 87–97.

Cox, James F., III, John H. Blackstone y Michael S. Spencer, editores. *APICS Dictionary*, 8a. edición. Falls Church, VA: APICS—The Educational Society for Resource Management, 1995.

Gallagher, G. R. "How to Develop a Realistic Master Schedule." *Management Review* (Abril de 1980): 19–25.

Goldratt, Eliyahu M. *It's Not Luck*. Croton-on-Hudson, Nueva York: North River Press, 1994.

Goldratt, Eliyahu M. y Jeff Cox. *The Goal: A Process of Ongoing Improvement*, 2ª edición revisada. Croton-on-Hudson, Nueva York: North River Press, 1992.

Hall, Robert W. *Zero Inventories*. Homewood, IL: Dow Jones–Irwin, 1983.

Holt, Charles C., Franco Modigliani, John F. Muth y Herbert A. Simon. *Planning Production, Inventories, and Work Force*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1960.

Landvater, Darryl V. *World Class Production and Inventory Management*. Nueva York: John Wiley & Sons, 1997.

Narasimhan, Seetharama L., Dennis W. McLeavey y Peter J. Billington. *Production Planning and Inventory Control*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1995.

Orlicky, Joseph y George W. Plossl. *Orlicky's Material Requirements Planning*. Nueva York: McGraw-Hill, 1994.

Proud, John F. "Controlling the Master Schedule." *Production and Inventory Management* 22, no. 2 (segundo trimestre de 1981): 78–90.

Schwarz, Leroy B. y Robert E. Johnson. "An Appraisal of the Empirical Performance of the Linear Decision Rule for Aggregate Planning." *Management Science* 24 (abril 1978): 844–849.

Silver, Edward, David F. Pyke, Rein Peterson y G. John Miltenburg. *Decision Systems for Inventory Management and Production Planning*. Nueva York: John Wiley & Sons, 1998.

Sipper, Daniel y Robert Bulfin. *Production: Planning, Control, and Integration*. Nueva York: McGraw Hill, 1997.

Vollmann, Thomas E. "OPT as an Enhancement to MRP II." *Production and Inventory Management* 27, no. 2 (segundo trimestre de 1986): 38–47.

Vollmann, Thomas E., William L. Berry y D. Clay Whybark. *Manufacturing Planning and Control Systems*. Nueva York: Irwin/McGraw-Hill, 1997.

Capítulo 10

Sistemas de inventarios sujetos a demanda independiente



Introducción

Puntos de vista opuestos sobre los inventarios

Por qué necesitamos mantener inventarios

Por qué no deseamos mantener inventarios

Naturaleza de los inventarios

Sistemas de cantidad fija de pedido

Determinación de la cantidad de pedido

Modelo I: Cantidad económica de pedido (EOQ) • Modelo II: EOQpara lotes de producción • Modelo III: EOQ con descuentos por cantidad

Determinación de puntos de pedido

Establecimiento de los puntos de pedido de acuerdo con los niveles de servicio • Algunas reglas prácticas para el establecimiento de puntos de pedido

Sistemas de periodo fijo de pedido

Otros modelos de inventarios

Modelos de inventarios híbridos

Modelos de inventarios de un solo periodo

Algunas realidades de la planeación de inventarios

Clasificación ABC de los materiales

EOQ y la incertidumbre

Dinámica de la planeación de inventarios

Otros factores que afectan la planeación de los inventario

Computadoras y la planeación de inventarios

Recopilación: Lo que hacen los productores de clase mundial

Preguntas de repaso y análisis

Tareas en Internet

Problemas

Casos

Southwest Wholesale Company

Planeación de inventarios en Integrated Products Corporation

Niveles de existencia de seguridad en Bell Computers

Bibliografía seleccionada

Establecimiento de políticas de inventarios en Airco Division

La junta se celebró en las oficinas centrales de Airco Division en St. Louis, con la presencia de todos los gerentes de planta y almacenes, el vicepresidente de operaciones y el vicepresidente de comercialización de la división. No es necesario recalcar que la junta fue un despliegue de poder ejecutivo. Todos tenían que estar presentes para poder llegar a un acuerdo sobre las políticas de inventarios de la división. El vicepresidente corporativo y gerente general de la división, señor Milligan, llamó al orden a los allí reunidos y abrió el periodo de análisis.

El señor Milligan declaró que la inversión en inventarios debía reducirse, pero también que en meses recientes algunos clientes habían observado que sus pedidos no se habían entregado de inmediato, debido a que no había existencias en los almacenes de Airco. El vicepresidente de comercialización declaró que la división tenía muchos productos en los almacenes, pero equivocados. También sentía que la división estaba tomándose libertades en lo que se refiere a las existencias de seguridad en los almacenes. El vicepresidente de operaciones declaró que la razón por la que en los almacenes se tenían los productos equivocados era debido a que los pronósticos de comercialización siempre eran erróneas y pidió al vicepresidente de comercialización el porcentaje de las veces que los almacenes podrían estar sin producto al recibir los pedidos de los clientes. El vicepresidente de comercialización contestó que siempre debería tenerse a la mano suficientes inventarios de productos para surtir los pedidos de los clientes.

Las políticas de inventarios son tan importantes que los gerentes de producción, de comercialización y financieros colaboran para llegar a un acuerdo sobre estas políticas. El hecho que en las políticas de inventarios existan puntos de vista conflictivos enfatiza el equilibrio que debe conseguirse entre metas en conflicto: reducir los costos de producción, reducir la inversión en inventarios e incrementar la sensibilidad hacia los clientes. Este capítulo se refiere a la integración de estos puntos de vista, aparentemente irreconciliables, en el establecimiento de las políticas de inventarios. En este capítulo examinaremos la naturaleza de los inventarios y la mecánica interna de los sistemas de inventarios, llegaremos a un discernimiento sobre los problemas fundamentales de la planeación de los inventarios y desarrollaremos varias técnicas para analizar los problemas de inventarios.

Puntos de vista opuestos sobre los inventarios

Actualmente, los inventarios presentan una doble imagen buena y mala. Hay muchas razones por las que deseamos mantener inventarios, pero también hay razones por las que mantener inventarios se considera poco prudente.

Por qué necesitamos mantener inventarios

Los inventarios son necesarios, pero el problema importante es cuánto se debe tener en ellos. La tabla 10.1 resume las razones para mantener en inventarios bienes terminados, en proceso y materias primas.

Además de la importancia estratégica de proporcionar un inventario de productos terminados, para que el servicio al cliente pueda mejorarse mediante un embarque rápido de sus pedidos, también mantenemos inventarios porque, al hacerlo, se reducen ciertos costos:

1. **Costos de pedir.** Cada vez que adquirimos un lote de materias primas de un proveedor, se incurre en un costo para el procesamiento del pedido de compra, para su seguimiento, para llevar a los registros y para la recepción del pedido en el almacén. Cada vez que producimos un lote en producción, se incurre en un costo por cambio al pasar la producción de un producto al siguiente. Mientras mayor sea el tamaño de los lotes, más inventarios mantendremos, pero pediremos menos veces durante el año y los costos anuales de pedir serán inferiores.

TABLA 10.1 ¿POR QUÉ DESEAMOS MANTENER INVENTARIOS?

Productos terminados	1. Esencial en las estrategias de posicionamiento de una producción para existencias, de importancia estratégica. 2. Necesario en planes agregados de nivelar capacidad. 3. Los productos se pueden exhibir y mostrar al cliente.
En proceso	1. Necesario para la producción enfocada a procesos; desacopla las etapas de la producción; incrementa su flexibilidad. 2. La producción y transporte de grandes lotes de productos crea más inventarios, pero puede reducir los costos de manejo de materiales y de producción.
Materias primas	1. Los proveedores producen y embarcan algunas materias primas en lotes. 2. Compras más grandes dan como resultado mayor inventario, pero puede dar también como resultado descuentos por cantidad y costos menores de flete y de manejo de materiales.

2. **Costos por faltantes.** Cada vez que nos quedemos sin inventario de materias primas o de productos terminados, podemos incurrir en costos. En el inventario de productos terminados, los costos por faltantes pueden incluir las ventas perdidas y los clientes insatisfechos. En un inventario de materias primas, los costos por faltantes pueden incluir el costo de alteración a la producción e incluso a veces ventas perdidas y clientes insatisfechos. Para tener una protección contra faltantes se puede mantener un inventario adicional, conocido como existencia de seguridad.
3. **Costos de adquisición.** En el caso de materiales comprados, adquirir lotes más grandes puede incrementar los inventarios de materias primas, pero los costos unitarios pudieran resultar menores debido a descuentos por cantidad y a menor costo por flete y manejo de materiales. En el caso de materiales producidos, lotes de tamaños más grandes incrementan los inventarios en proceso y de productos terminados, pero los costos unitarios promedio pudieran resultar inferiores, ya que los costos por cambio de maquinaria se distribuyen sobre lotes más grandes (vea la fig. 10.1)
4. **Costos de calidad por arranque.** Cuando iniciamos la producción de un lote, el riesgo que resulten muchas piezas defectuosas es grande. Los operarios pueden estar aprendiendo, quizás no se alimenten los materiales correctamente, las máquinas necesitan ajuste y deberá producirse una cierta cantidad de producto antes de que la situación se estabilice. Lotes de mayor tamaño, menos cambios por año y menos desperdicio.

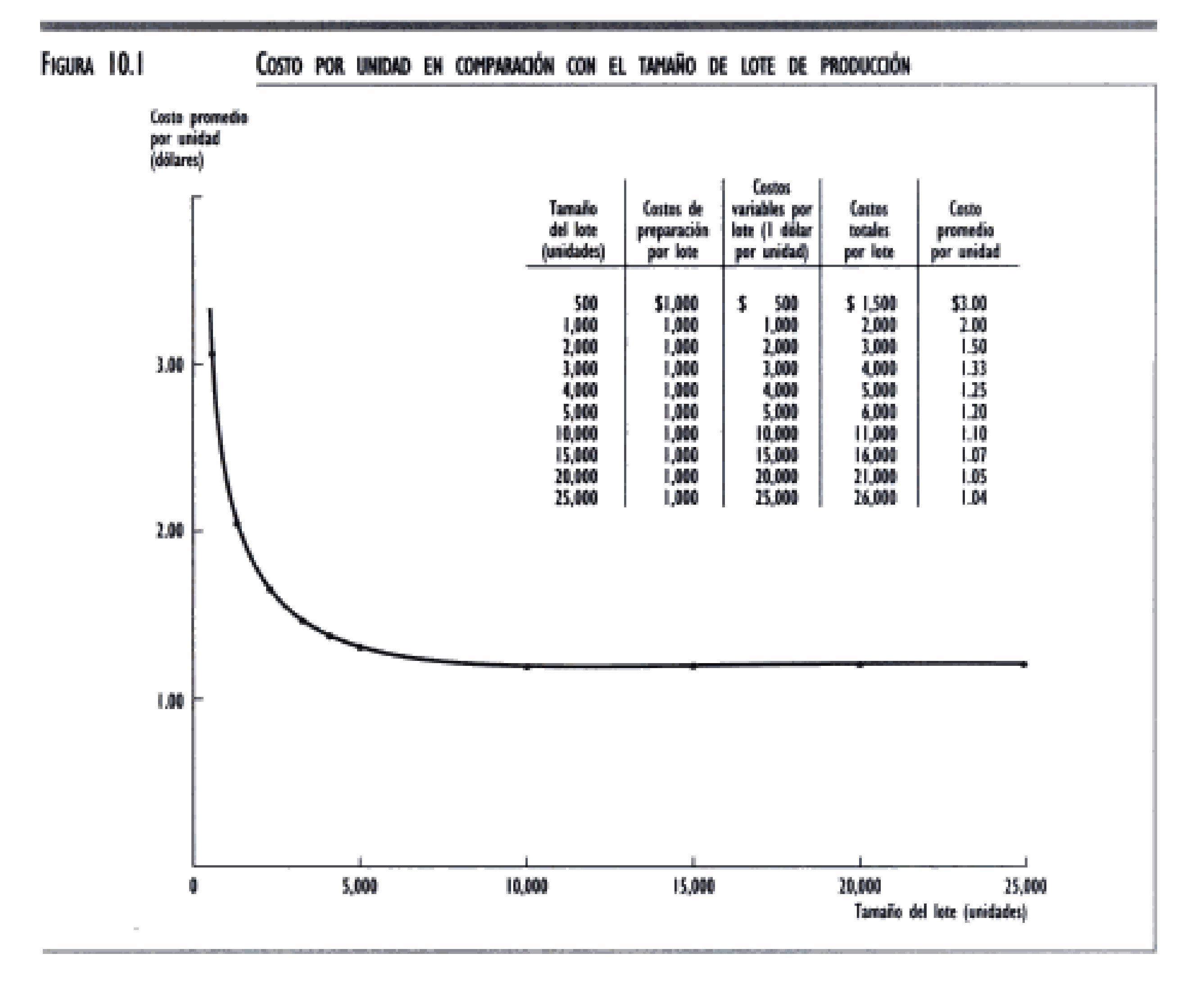
Los inventarios pueden ser indispensables para una operación eficiente y efectiva de los sistemas de producción, pero hay muy buenas razones por las cuales no deseemos mantener inventarios.

POR QUÉ NO DESEAMOS MANTENER INVENTARIOS

Al elevarse los niveles de inventario, ciertos costos aumentan:

1. **Costo de almacenar.** Los intereses sobre la deuda, los intereses no aprovechados que ganaríamos sobre ingresos, el alquiler del almacén, el acondicionamiento, calefacción, iluminación, limpieza, mantenimiento, protección, flete, recepción, manejo de materiales, impuestos, seguros y administración son algunos de los costos en que se incurre para asegurar, financiar, almacenar, manejar y administrar mayores inventarios.
2. **Costo de sensibilidad hacia los clientes.** Grandes inventarios en proceso obstruyen los sistemas de producción. Aumenta el tiempo necesario para producir y entregar los pedidos de los clientes, y disminuye nuestra capacidad de respuesta a cambios en los pedidos de los clientes.
3. **Costo de coordinar la producción.** Dado que los inventarios grandes obstruyen el proceso de la producción, se necesita más personal para desenmarañar problemas de tránsito, resolver problemas relacionados con el congestionamiento de la producción y coordinar programas.
4. **Costo de un rendimiento sobre la inversión (ROI) disminuido.** Los inventarios constituyen activos e inventarios grandes reducen el rendimiento sobre la inversión. Un rendimiento reducido sobre la inversión incrementa el costo financiero de la empresa al aumentar las tasas de interés sobre la deuda y reducir el precio de las acciones.

FIGURA 10.1 COSTO POR UNIDAD EN COMPARACIÓN CON EL TAMAÑO DE LOTE DE PRODUCCIÓN



Tamaño del lote (unidades)	Costos de preparación por lote	Costos variables por lote (1 dólar por unidad)	Costos totales por lote	Costo promedio por unidad
500	$1,000	$ 500	$ 1,500	$3.00
1,000	1,000	1,000	2,000	2.00
2,000	1,000	2,000	3,000	1.50
3,000	1,000	3,000	4,000	1.33
4,000	1,000	4,000	5,000	1.25
5,000	1,000	5,000	6,000	1.20
10,000	1,000	10,000	11,000	1.10
15,000	1,000	15,000	16,000	1.07
20,000	1,000	20,000	21,000	1.05
25,000	1,000	25,000	26,000	1.04

5. **Costos por reducción en la capacidad.** Los inventarios representan una forma de desperdicio. Materiales pedidos, conservados y producidos antes que sean necesarios desperdician capacidad de producción.
6. **Costo por calidad en lotes grandes.** La producción de lotes de producción grandes da como resultado inventarios grandes. En algunas ocasiones ocurre algo malo y gran parte de un lote de producción resulta defectuoso. En ese tipo de situación los lotes de menor tamaño pueden reducir la cantidad de productos defectuosos.
7. **Costos de los problemas de producción.** Mayores inventarios en proceso enmascaran problemas de producción subyacentes. Jamas se resuelven problemas como por ejemplo la descompostura de máquinas, mala calidad del producto y faltantes de materiales.

Al principio, estos costos pueden parecer indirectos, confusos e incluso de poca importancia, pero su reducción manteniendo un menor inventario puede ser vital en la lucha para poder competir en los mercados mundiales.

NATURALEZA DE LOS INVENTARIOS

Dos temas fundamentales son la raíz de toda la planeación de inventarios:

- Cuánto pedir de cada material al colocar los pedidos, ya sea a los proveedores externos o a los departamentos de producción dentro de la organización
- Cuándo colocar los pedidos

La **cantidad de pedido,** también conocida como **tamaño del lote,** y cuándo colocar estos pedidos, también conocido como **punto de pedido** son, en cualquier momento, los determinantes principales de la cantidad de material en inventarios.

El estudio del **ciclo de inventarios** —los materiales se piden, se reciben y se utilizan en un proceso que se repite —utiliza una terminología propia. Estos términos aparecen incluidos en el glosario al final de este libro.

Los inventarios pueden contener materiales que pueden estar sujetos a **demanda dependiente** o a **demanda independiente.** *En los inventarios sujetos a demanda independiente, la demanda de un elemento que se lleva en inventario es independiente de la demanda de cualquier otro elemento que se lleve también en dicho inventario.* Los productos terminados que se embarcan a los clientes son un ejemplo de demanda independiente. La demanda de estos elementos se estima a partir de pronósticos o de los pedidos reales de los clientes. El resto de este capítulo se dirige a decisiones de cantidad de pedido y de punto de pedido de inventarios sujetos a demanda independiente. *Los inventarios sujetos a demanda dependiente consisten de elementos cuya demanda depende de la demanda de otros elementos, que también se llevan en inventario.* Por ejemplo, la demanda de una caja para calculadora y de un recipiente de embarque, que son componentes, dependen de la demanda de la calculadora, un producto terminado. Típicamente, la demanda de materias primas y componentes puede calcularse si podemos estimar la demanda de los productos terminados en los que se incorporan estos materiales. Las decisiones de cantidad de pedido y de punto de pedido para inventarios sujetos a demanda dependiente son, por lo tanto, claramente diferentes a las de los inventarios sujetos a demanda independiente; estas decisiones se tratarán en el capítulo 11, Sistemas de planeación de requerimientos de recursos.

¿Cuánto debemos ordenar de un material al reabastecer el inventario, en los inventarios sujeto a demanda independiente? La respuesta dependerá del costo de pedir demasiado y del costo de pedir demasiado poco. El costo de pedir demasiado son los costos antes analizados, que nos hacen desear no mantener inventarios: mantenimiento, sensibilidad hacia el cliente, coordinación de la producción, ROI (rendimiento sobre la inversión) diluido, menor capacidad, calidad de los lotes grandes y problemas de la producción. El costo de pedir demasiado poco son todos los costos que nos hacen desear mantener inventarios, mismos que vimos anteriormente: de pedir, faltantes de almacén, de almacenar y calidad al arranque.

Los materiales se piden de manera que en cada uno de los pedidos el costo de pedir demasiado poco se compense con el costo de pedir demasiado. En la figura 10.2 se trazan en una gráfica dos clases de costos. Los costos de almacenar representan todos los costos anuales asociados con pedir demasiado. Estos costos se elevan conforme aumentan las cantidades de pedido, porque los niveles promedio de inventario se elevan al aumentar las cantidades pedidas. El costo de pedir representa todos los costos anuales asociados con pedir demasiado poco. Estos costos se reducen conforme se elevan las cantidades de pedido porque la cantidad de pedidos anuales se reduce y los niveles promedio de inventarios se elevan al aumentar las cantidades pedidas.

Como ilustra la figura 10.2, cuando la curva de los costos anuales de almacenar se suma a la curva de los costos anuales de pedir, da como resultado un curva anual total de costo de posesión. *Esa curva de costo total demuestra un principio importante en la planeación de los inventarios. Para todo material que se mantiene en inventario, existe una cantidad óptima de pedido donde los costos totales de posesión resultan en un mínimo.* En esta figura la cantidad de pedido óptima, tradicionalmente conocida como **cantidad económica de pedido (EOQ,** por sus siglas en inglés) es de aproximadamente 524 unidades por pedido.

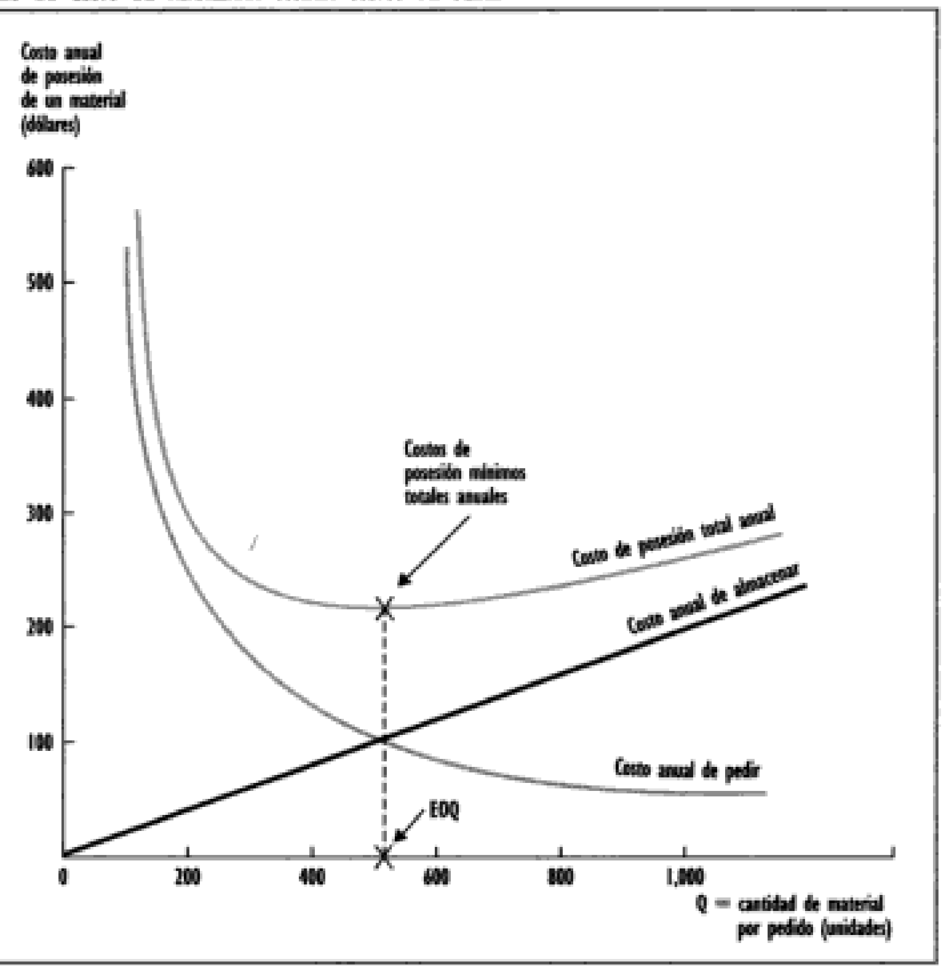
Este concepto es útil para los gerentes de operaciones, particularmente si se utiliza el sistema de cantidad fija de pedido.

SISTEMAS DE CANTIDAD FIJA DE PEDIDO

Los **sistemas de cantidad fija de pedido** colocan pedidos por una misma cantidad de un material cada vez que se pide ese material. Sin embargo, *puede* variar el momento en que el pedido se coloca. Los inventarios se reducen hasta que un nivel crítico del inventario, conocido como punto de pedido, activa un pedido. El **punto de pedido (OP,** por sus siglas en inglés) se determina al estimar cuánto material esperamos utilizar entre el momento en que pedimos y el momento en que recibimos otro lote de dicho material. Cuando se recibe el lote y se reabastece el inventario, la cantidad fija de pedido entra en él.

El **sistema de doble inventario** es una forma de control de inventario que es una aplicación simple de este tipo de sistema. En el sistema de doble inventario se tienen dos recipientes que fi-

FIGURA 10.2 BALANCEO DE COSTO DE ALMACENAR CONTRA COSTOS DE PEDIR



sicamente contienen cada material en un almacén. Al utilizar el material, éste se toma del recipiente grande, hasta que se vacía. En el fondo del recipiente grande se encuentra una requisición impresa que cubre otro pedido de ese material. Esta requisición de reabastecimiento se emite y durante el plazo de entrega se usan los materiales que existen en el recipiente pequeño, mismo que contiene justo el material suficiente para que dure hasta el siguiente reabastecimiento. Una vez reabastecido el inventario, en la parte inferior del recipiente grande se coloca una requisición, ambos recipientes se llenan y el ciclo se repite. La cantidad de pedido es la necesaria para llenar ambos recipientes. El punto de pedido es la cantidad necesaria para llenar el recipiente pequeño.

En estos sistemas, por lo general suponemos que se lleva contabilidad perpetua de inventarios. En una **contabilidad perpetua de inventarios,** las sumas y las restas a los registros de inventarios se efectúan en el momento en que los materiales se agregan o se sacan del inventario. Con este método, en cualquier momento podemos saber la cantidad de un material en inventario, al ver su **registro de inventarios,** un despliegue de todas las transacciones en los inventarios que hayan afectado dicho material. Estos despliegues forman parte del sistema de cómputo de la empresa y cuando usted lo solicita aparece en la pantalla de la terminal de su computadora.

Dos decisiones son esenciales para los sistemas de cantidad fija de pedido: cantidades de pedido y puntos de pedido.

Con el método de contabilidad perpetua de inventarios, en cualquier momento se puede determinar la cantidad de un material en inventario consultando su registro.



TABLA 10.2 MODELO I: CANTIDAD ECONÓMICA DE PEDIDO (EOQ)

Supuestos

1. Es posible estimar la demanda anual, el costo de almacenar y el costo de pedir un material
2. El nivel promedio de inventarios de un material es la cantidad de pedido dividido entre 2. Esto implícitamente supone que no se usa existencia de seguridad, que la totalidad de los pedidos se reciben de una vez, que los materiales se utilizan a una tasa uniforme y que cuando se recibe el siguiente pedido los materiales se han utilizado en su totalidad.
3. No son de importancia los faltantes, la sensibilidad a los clientes y otros costos.
4. No existen descuentos por cantidad

Definiciones de variables

D = demanda anual de un material (unidades por año)*
Q = cantidad del material pedida en cada punto de pedido (unidades por pedido)
C = costo de almacenar una unidad en el inventario durante un año (dólares por unidad por año)*
S = costos promedio de hacer un pedido de un material (dólares por pedido)
TSC = costos totales de posesión de un material (dólares por año)

Fórmulas de costos

Costo anual de almacenar = nivel promedio de inventarios × de almacenar= (Q/2)C
Costo anual de pedir = pedidos por año × costo de pedir = (D/Q)S
Costo total anual de posesión (TSC) = costo anual de almacenar + costo anual de pedir
= (Q/2)C + (D/Q)S

Deducción de la fórmula de la cantidad económica de pedido

La cantidad óptima de pedido se encuentra al obtener la derivada de TSC respecto a Q y hacerla igual a cero y a continuación resolver en función de Q:

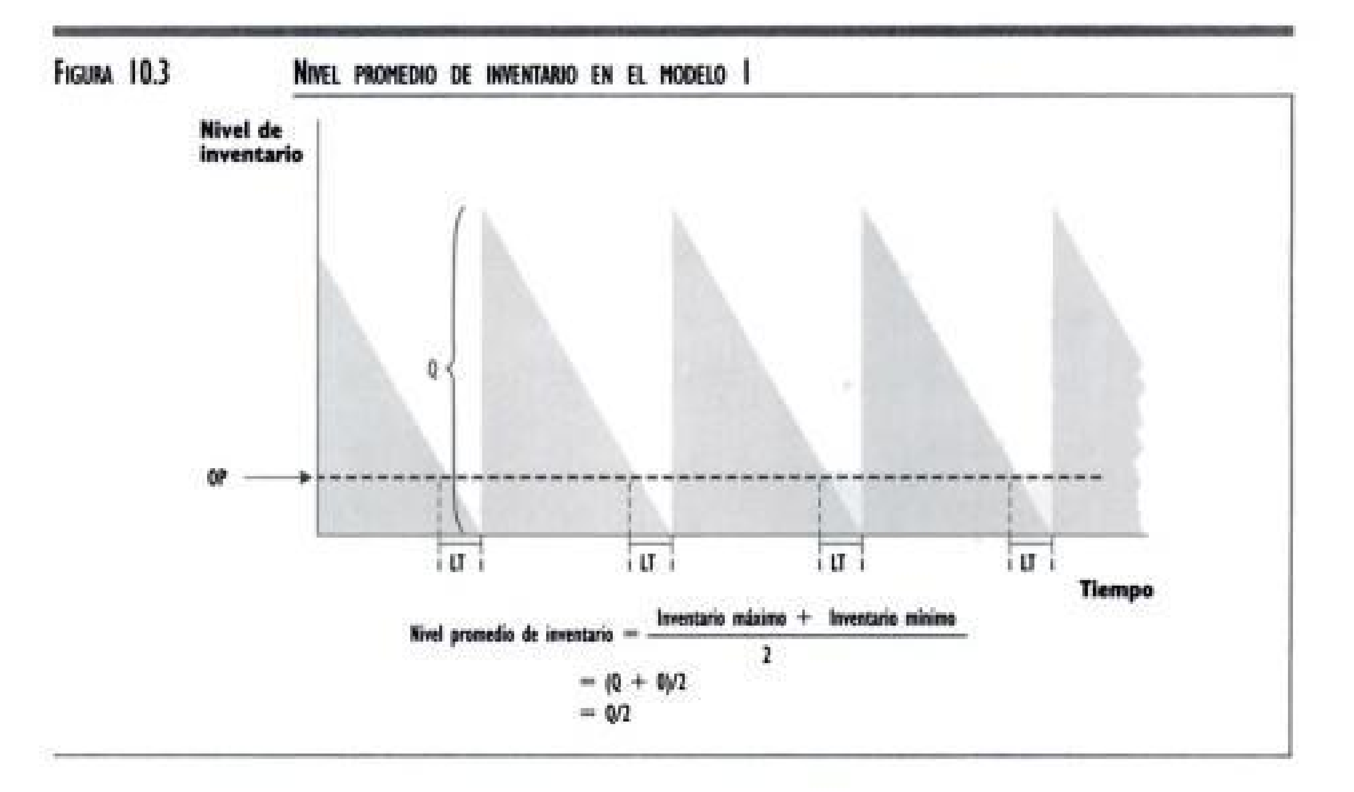
1. La fórmula de TSC es: $TSC = (Q/2)C + (D/Q)S$
2. La derivada de TSC respecto a Q es: $d(TSC)/d(Q) = C/2 + (-DS/Q^2)$
3. Iguale la derivada de TSC a cero y resuelva en función de Q:

$$C/2 + (-DS/Q^2) = 0$$
$$-DS/Q^2 = -C/2$$
$$Q^2 = 2DS/C$$
$$Q = \sqrt{2DS/C}$$

4. El EOQ es, por lo tanto: $EOQ = \sqrt{2DS/C}$

*En aquellos casos donde el material es de demanda estacional, D representaría la demanda trimestral y C representaría el costo de almacenar por unidad de un trimestre, por lo que las políticas de pedir variarán de un trimestre al siguiente, conforme varíe la demanda estacional.

FIGURA 10.3 NIVEL PROMEDIO DE INVENTARIO EN EL MODELO I



DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE PEDIDO

Cuando en un sistema de cantidad fija de pedido los gerentes de operaciones deben decidir la cantidad de un material a pedir, no existe una fórmula única aplicable a todas las situaciones. Cada situación requiere de un análisis basado en las características de dicho sistema en particular de inventarios. Aquí desarrollamos estimaciones de cantidades óptimas de pedido para tres modelos de inventarios: Modelo I: cantidad económica de pedido (EOQ), Modelo II: EOQ para lotes de producción y Modelo III: EOQ con descuentos por cantidad.

Modelo I: Cantidad económica de pedido (EOQ) La tabla 10.2 describe los supuestos, las definiciones de las variables, las fórmulas del costo y la deducción de la fórmula EOQ para el Modelo I. La pregunta clave en la aplicación de este modelo es: ¿Coinciden los supuestos con nuestra situación de inventarios o son mínimas las desviaciones respecto a esos supuestos?

Como se demuestra en la figura 10.3, un inventario promedio igual a Q/2 implica que no hay existencia de seguridad, que los pedidos se reciben todos de una vez, que los materiales se utilizan a una velocidad uniforme y que cuando llega el siguiente pedido se ha usado la totalidad de los materiales. En la práctica es rara la presencia de todas estas características; pero a pesar de desviaciones menores, para algunos materiales Q/2 puede resultar una estimación razonable de los niveles promedio de inventarios.

El ejemplo 10.1 aplica las fórmulas de costo y de EOQ a un material adquirido por una empresa de suministros de plomería.

EJEMPLO 10.1

USO DEL MODELO I EN UNA EMPRESA DE ACCESORIOS PARA PLOMERÍA

La Call-Us Plumbing Supply Company almacena miles de artículos de plomería. El señor Swartz, gerente general de la empresa, se pregunta cuanto dinero podría ahorrarse todos los años si se utilizara

EOQ en lugar de utilizar las reglas prácticas actuales de la empresa. Le da instrucciones a Mary Ann Church, analista de inventarios, para que realice un análisis sobre un solo material (material 3925, válvula de latón) para ver si pudieran resultar ahorros significativos usando el EOQ. De la información contable, Mary Ann desarrolla las siguientes estimaciones: D = 10,000 válvulas por año, Q = 400 válvulas por pedido (cantidad de pedido presente), C = $0.40 por válvula por año, y S = $5.50 por pedido.

Solución

1. Mary Ann calcula los costos de posesión anuales totales:

$$TSC_1 = (Q/2)C + (D/Q)S = \left(\frac{400}{2}\right)0.4 + \left(\frac{10{,}000}{400}\right)5.5 = 80 + 137.50 = \$217.50$$

2. Se calcula el EOQ:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2DS}{C}} = \sqrt{\frac{2(10{,}000)(5.5)}{0.4}} = \sqrt{275{,}000} = 524.4 \text{ válvulas}$$

3. Se determinan los costo de posesión totales anuales en caso de usarse EOQ:

$$TSC_2 = (Q/2)C + (D/Q)\,S = \left(\frac{524.4}{2}\right)0.4 + \left(\frac{10{,}000}{524.4}\right)5.5$$
$$= 104.88 + 104.88 = \$209.76$$

4. Se determinan los ahorros estimados anuales en costos de posesión:

$$\text{Ahorros} = TSC_1 - TSC_2 = 217.50 - 209.76 = \$7.74$$

5. Mary Ann llega a la conclusión de que si los ahorros anuales de este material se aplicaron a los miles de artículos en inventario, los ahorros provenientes del uso de EOQ serían significativos.

Modelo II: EOQ para lotes de producción Este modelo, es útil para la determinación del tamaño de los pedidos, si se produce un material en una etapa de la producción, se almacena en inventario y después se envía a la siguiente etapa de producción o se embarca a los clientes. Se genera la producción y fluye al inventario a una tasa (p) superior a la tasa de uso o de demanda (d) a la que está saliendo el material del inventario, por lo que este modelo es muy adecuado para planear el tamaño de los **lotes de producción** para manufacturar los productos dentro de la misma empresa.

Este modelo sólo tiene una pequeña modificación en relación con el Modelo I: se supone que los pedidos se liberan o producen a una tasa uniforme, y no todo de una vez. La tabla 10.3 presenta los supuestos, las definiciones de las variables, las fórmulas de los costos y las deducciones del EOQ para el Modelo II. La figura 10.4 muestra que lo pedidos se producen a una tasa uniforme (p) durante la primera parte del ciclo de inventarios y se utilizan a una tasa uniforme (d) durante todo el ciclo. Durante la producción, los niveles de inventarios se acumulan a una tasa de (p − d) y jamás llegan al nivel Q, como en el Modelo I. El ejemplo 10.2 ilustra el uso del Modelo II en la determinación del tamaño de los lotes de producción.

Ejemplo 10.2

Uso del modelo II en la determinación del tamaño de los lotes de producción

La Call-Us Plumbing Supply Company tiene un departamento adyacente de producción que pudiera fabricar la válvula 3925. Si las válvulas se produjeran en la empresa en lotes de producción, fluirían gradual-

TABLA 10.3 **MODELO II: EOQ PARA LOTES DE PRODUCCIÓN**

Supuestos

1. Es posible estimar la demanda anual, el costo de almacenar y el costo de pedir de un material
2. No se utiliza existencia de seguridad, los materiales se suministran a una tasa uniforme (p) y se utilizan a una tasa uniforme (d), y cuando el siguiente pedido llega los materiales se utilizaron totalmente.
3. No son importantes los costos de faltantes de inventario ni los de los clientes, así como otros costos.
4. No existen descuentos por cantidad
5. La tasa de suministro (p) es superior a la tasa de uso (d).

Definiciones de las variables

Todas las definiciones del Modelo I son aplicables también al Modelo II*. Además

d = tasa a la que se utilizan las unidades saliendo del inventario (unidades por periodo de tiempo)

p = tasa a la que se suministran las unidades al inventario (mismas unidades que d)

Fórmulas de los costos

Nivel máximo de inventarios = Tasa de acumulación de inventarios × Periodo de entrega
= (p − d)(Q/p)

Nivel mínimo de inventarios = 0

Nivel promedio de inventario = ½(Nivel máximo de inventarios + Nivel mínimo de inventarios)
= ½[(p − d)(Q/p) + 0] = (Q/2)[(p − d)/p]

Costo anual de almacenamiento = Nivel promedio de inventarios × Costo de almacenar
= (Q/2)[(p − d)/p]C

Costo anual de pedir = Pedidos por año × Costo de pedir = (D/Q)S

Costo de posesión anual (TSC) = Costo anual de almacenar × Costo anual de pedir
= (Q/2)[(p − d)/p]C + (D/Q)S

Deducción de la fórmula de la cantidad económica de pedido

De nuevo, como en el Modelo I, haga que la derivada de TSC con respecto a Q sea igual a cero y resuelva en función de Q:

1. La fórmula para TSC es: $TSC = (Q/2)[(p - d)/p]C + (D/Q)S$
2. La derivada de TSC respecto a Q es: $d(TSC)/d(Q) = [(p - d)/2p]C - DS/Q^2$
3. Iguale la derivada de TSC a cero y resuelva en función de Q:

$$[(p - d)/2p]C - DS/Q^2 = 0$$
$$Q^2 = (2DS/C)[p/(p - d)]$$
$$Q = \sqrt{(2DS/C)[p/(p - d)]}$$

4. El EOQ es por lo tanto: $EOQ = \sqrt{(2DS/C)[p/(p - d)]}$

*Vea la nota a la tabla 10.2.

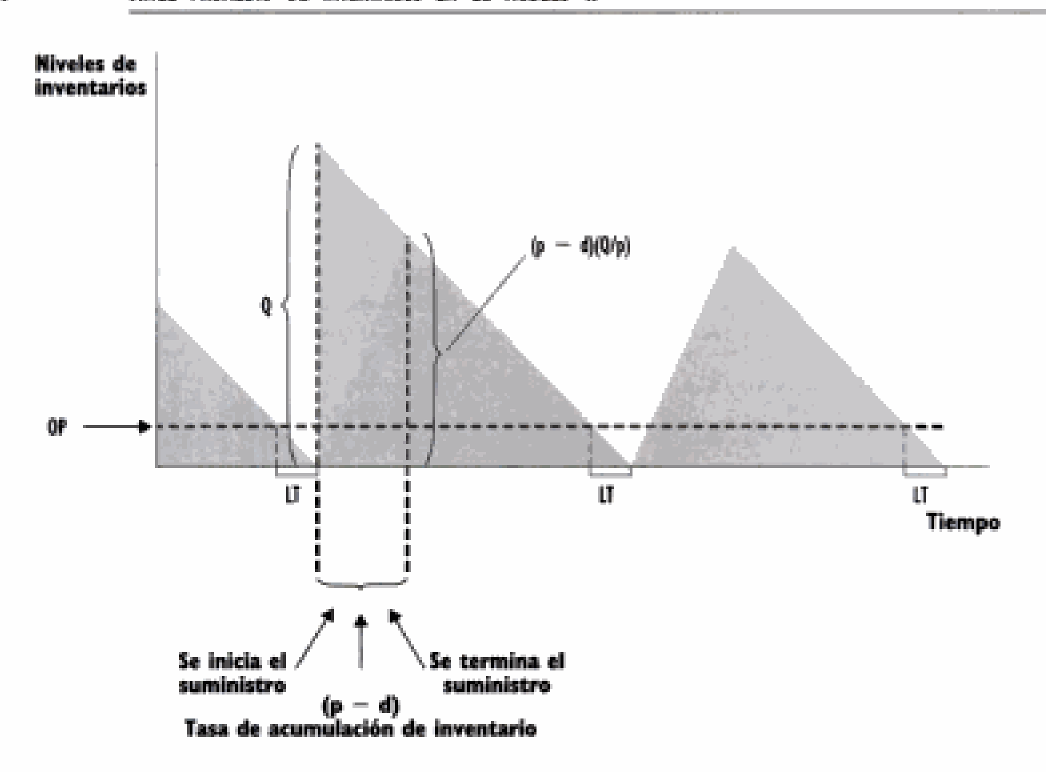
mente hacia el inventario en el almacén principal para su uso. El costo de almacenar, de pedir o de preparación y la demanda anual se conservarían aproximadamente igual. Dado que las válvulas realmente fluyen hacia el inventario en lugar de recibirse todas a la vez como lote, el señor Swartz se pregunta de qué manera ello afectaría la cantidad de pedido y el costo anual de almacenamiento. Mary Ann Church desarrolla estas estimaciones: D = 10,000 válvulas por año, C = $0.40 por válvula por año, y S = $5.50 por pedido, D = 40 válvulas por día (10,000 válvulas por año/250 días laborables) y p =120 válvulas diarias.

SOLUCIÓN

1. Mary Ann calcula el EOQ:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2DS}{C}\left(\frac{p}{p-d}\right)} = \sqrt{\frac{2(10{,}000)(5.5)}{0.4}\left(\frac{120}{120-40}\right)} = 642.26 \text{ válvulas}$$

FIGURA 10.4 NIVEL PROMEDIO DE INVENTARIOS EN EL MODELO II



Inventario máximo = Tasa de acumulación de inventarios × Periodo de entrega

$= (p - d)(Q/p)$

Inventario mínimo = 0

$$\text{Nivel promedio de inventario} = \frac{\text{Inventario máximo} + \text{Inventario mínimo}}{2}$$

$$= \tfrac{1}{2}[(p - d)(Q/p) + 0]$$

$$= Q/2[(p - d)/p]$$

2. Se calculan los nuevos costos anuales totales de posesión:

$$TSC_3 = (Q/2)\left(\frac{p - d}{p}\right)C + (D/Q)S = \frac{642.26}{2}\left(\frac{120 - 40}{120}\right)0.4 + \left(\frac{10{,}000}{642.26}\right)5.5$$

$$= 85.63 + 85.63 = \$171.26 \text{ anuales}$$

3. Los EOQ y los costos anuales totales de posesión del ejemplo 10.1, cuando las válvulas 3925 se entregaban todas a la vez eran de EOQ = 524.4 y TSC_2 = \$209.76.
4. Se calculan los ahorros estimados

$$\text{Ahorros} = TSC_2 - TSC_3 = 209.76 - 171.26 = \$38.50 \text{ anuales}$$

TABLA 10.4 MODELO III: EOQ CON DESCUENTOS POR CANTIDAD

Supuestos

1. Es posible estimar la demanda anual, el costo de almacenar y el costo de pedir de un material.
2. Se pueden estimar los niveles promedio de inventarios como:

   Q/2—si son válidos los supuestos del Modelo I: no hay existencia de seguridad, los pedidos se reciben todo a la vez y los materiales se utilizan a una tasa uniforme y al llegar el siguiente pedido se ha utilizado la totalidad de los materiales.

   Q/2[(p − d)/p]—prevalecen los supuestos del Modelo II. No hay existencia de seguridad, los materiales se suministran a una tasa uniforme (d), y se usan a una tasa uniforme (d), y los materiales se han agotado totalmente cuando llega el siguiente pedido.
3. No son de consecuencia ni los faltantes de inventario, ni la sensibilidad hacia el cliente ni otros costos.
4. Sí existen los descuentos por cantidad. Conforme se piden cantidades más grandes, se aplican descuentos en el precio a todas las unidades pedidas.

Definiciones de las variables

Todas las definiciones de los modelos anteriores son aplicables al Modelo III*. Además:

TMC = costos anuales totales de materiales (dólares al año)

ac = costos de adquisición ya sea de comprar o de producir una unidad de un material (dólares por unidad)

Fórmulas

Las fórmulas de EOQ y TSC ya sean del Modelo I o del Modelo II son aplicables al Modelo III, dependiendo cuál de los supuestos se adecua mejor a la situación de los inventarios.

Costos anuales de adquisición = Demanda anual × Costo de adquirir = (D)ac

Costo anual total de materiales (TMC) = Costos de almacenar totales anuales + Costo anual de adquirir = TSC + (D)ac

Modelo I: pedido entregado todo de una vez	*Modelo II: entregas graduales*
$EOQ = \sqrt{2DS/C}$	$EOQ = \sqrt{(2DS/C)[p/(p - d)]}$
$TMC = (Q/2)C + (D/Q)S + (D)ac$	$TMC = (Q/2)[(p - d)/p]C + (D/Q)S + (D)ac$

Procedimientos

1. Calcule el EOQ utilizando cada uno de los precios de venta. Observe que C es, por lo general una función del precio de venta o del costo de producción. Por ejemplo, C puede definirse como 20% del precio de venta; por lo tanto, EOQ cambiará conforme C y ac cambian.
2. Determine cuales de los EOQ obtenidos en el paso 1 son factibles. En otras palabras, ¿está el EOQ calculado dentro del rango de cantidades para este precio?
3. El costo material anual total (TMC) se calcula para los EOQ factibles y para las cantidades de los cambios en los precios de venta.
4. La cantidad de pedido que tenga el coto de material total menor (TMC) es la cantidad económica del pedido del material.

*Vea la nota de la tabla 10.2.

Modelo III: EOQ con descuentos por cantidad Si se piden mayores cantidades, los proveedores pueden ofrecer sus productos a precios unitarios inferiores. Esta táctica se conoce como **descuentos por cantidad** y ocurre porque pedidos de cantidad mayor pueden ser menos costosos de producir y embarcar. Una preocupación vital en la mayoría de las decisiones de cantidades es solicitar suficiente material en cada pedido para que pueda calificar al mejor precio posible, pero no comprar tanto que los costos de posesión consuman los ahorros en los costos de comprar. El Modelo III intenta lograr este objetivo. La cantidad adquirida no necesariamente tiene que ser la cantidad EOQ, según se formula a partir del Modelo I o del Modelo II; más bien, es aquella cantidad que minimice la suma de los costos anuales de almacenar, de pedir y de posesión. La tabla 10.4 enlista los supuestos, las definiciones de las variables, las fórmulas y los procedimientos para este modelo.

El Modelo III utiliza fórmulas ya sea del Modelo I o del Modelo II. Si las entregas de los pedidos ocurren todo a la vez, se utilizan las fórmulas del Modelo I, si las entregas son graduales, se utilizan las fórmulas del Modelo II. Es particularmente importante reconocer que las cantidades clave a considerar son cualquier EOQ factible (¿está el EOQ dentro del rango de cantidades para su precio?) y las cantidades de los cambios de precio. La tabla 10.5 da cuatro decisiones de canti-

TABLA 10.5 IDENTIFICACIÓN DE CANTIDADES CLAVE POR INVESTIGAR CUANDO EXISTEN DESCUENTOS POR CANTIDAD

Cantidad	Precio	EOQ factible	Cantidad clave por analizar	Cantidad	Precio	EOQ factible	Cantidad clave por analizar
1–399	$2.20			1–499	$6.95		
400–699	2.00	524.4	524.4*	500–999	6.50		
700+	1.80		700*	1,000–1,999	6.25	1,700	1,700
				2,000+	6.10		2,000
1–699	$43.50	590	590	1–599	$10.50		
700–1,499	36.95		700	600–749	7.50		
1,500+	35.50		1,500	750–999	7.25		
				1,000+	7.15	1,200	1,200

*Vea el ejemplo 10.3 y la figura 10.5.

FIGURA 10.5 CURVAS TMC DE DESCUENTO POR CANTIDAD



dad-descuento/cantidad-pedido para demostrar los procedimientos de identificación de cantidades a investigarse al comparar los costos de materiales anuales totales (TMC).

El ejemplo 10.3 aplica el Modelo III a nuestros viejos amigos de la empresa de suministro de accesorios de plomería. En este ejemplo, el gerente debe decidir tanto la cantidad como el método de entrega —ya sea entregas graduales o pedidos que se reciben todos de una vez— para un material. Siga los pasos de este ejemplo; que demuestra los procedimientos que se utilizan en el Modelo III.

EJEMPLO 10.3

EOQ CON LOS DESCUENTOS POR CANTIDAD EN UNA EMPRESA DE SUMINISTROS DE ACCESORIOS PARA PLOMERÍA

Un proveedor de la válvula 3925 ha ofrecido al señor Swartz descuentos por cantidad, si adquiere más de lo que pide actualmente. Los nuevos volúmenes y precios son

Rango de cantidades de pedido	Costo de adquisición por válvula (ac)
1–399	$2.20
400–699	2.00
700+	1.80

El señor Swartz le pide a Mary Ann que investigue los nuevos precios bajo dos supuestos. Los pedidos se reciben todos a la vez y las entregas son graduales.

SOLUCIÓN

Pedidos recibidos todos a la vez

1. Mary Ann ha desarrollado estas estimaciones: D = 10,000 válvulas por año, C = $0.2 (ac) por válvula por año, y S = $5.50 por pedido.
2. Los EOQ se calculan para cada uno de los costos de adquisición

$$EOQ_{2.20} = \sqrt{\frac{2DS}{C}} = \sqrt{\frac{2(10{,}000)(5.5)}{0.2(2.2)}} = 500$$

$$EOQ_{2.00} = \sqrt{\frac{2DS}{C}} = \sqrt{\frac{2(10{,}000)(5.5)}{0.2(2.2)}} = 524.4$$

$$EOQ_{1.80} = \sqrt{\frac{2DS}{C}} = \sqrt{\frac{2(10{,}000)(5.5)}{0.2(1.8)}} = 552.8$$

3. Mary Ann traza una gráfica para TMC por cada costo de adquisición (vea la figura 10.5) por ejemplo, $TMC_{2.2}$ se puede trazar sustituyendo varios valores de Q en esta fórmula de TMC.

$$TMC = \left(\frac{Q}{2}\right)C + \left(\frac{D}{Q}\right)S + (D)ac$$

$$TMC_{2.2} = \left(\frac{Q}{2}\right)(2.2)(0.2) + \left(\frac{10{,}000}{Q}\right)5.5 + (10{,}000)2.2$$

Mary Ann observa que solamente EOQ 2.00 es factible, ya que 524.4 válvulas por pedido se pueden comprar a $2.00 por válvula. Se analizan por lo tanto el TMC en dos cantidades: 524.4 unidades por pedido (cada una a $2.00) y 700 unidades por pedido (cada una a $1.80):

$$Q = 524.4: \quad TMC = \left(\frac{Q}{2}\right)C + \left(\frac{D}{Q}\right)S + (D)ac$$

$$= \left(\frac{524.4}{2}\right)0.4 + \left(\frac{10{,}000}{524.4}\right)5.5 + (10{,}000)2$$

$$= 104.88 + 104.88 + 20{,}000 = \$20{,}209.76 \text{ anuales}$$

$$Q = 700: \quad TMC = \left(\frac{Q}{2}\right)C + \left(\frac{D}{Q}\right)S + (D)ac$$

$$TMC = \left(\frac{700}{2}\right)(0.2 \times 1.8) + \left(\frac{10{,}000}{700}\right)5.5 + (10{,}000)1.8$$

$$= 126.00 + 78.57 + 18{,}000 = \$18{,}204.57 \text{ anuales}$$

4. Mary concluye que si los pedidos se entregan todos a la vez, deberían ordenarse 700 válvulas en cada reabastecimiento de inventario.

Entregas graduales

1. Mary Ann ha desarrollado estas estimaciones: D = 10,000 válvulas por año, S = \$5.50 por pedido, C = 0.2 (ac) dólares por válvula por año p = 120 válvulas por día y d = 40 válvulas por día.
2. Ahora se calculan los EOQ

$$EOQ_{2.20} = \sqrt{\frac{2DS}{C}\left(\frac{p}{p-d}\right)} = \sqrt{\frac{2(10{,}000)(5.5)}{0.2(2.2)}\left(\frac{120}{120-40}\right)} = 612.4$$

$$EOQ_{2.00} = \sqrt{\frac{2DS}{C}\left(\frac{p}{p-d}\right)} = \sqrt{\frac{2(10{,}000)(5.5)}{0.2(2.0)}\left(\frac{120}{120-40}\right)} = 642.3$$

$$EOQ_{1.80} = \sqrt{\frac{2DS}{C}\left(\frac{p}{p-d}\right)} = \sqrt{\frac{2(10{,}000)(5.5)}{0.2(1.8)}\left(\frac{120}{120-40}\right)} = 677.0$$

3. Mary Ann observa que solamente es factible EOQ2.00 porque se pueden adquirir 642.3 válvulas a \$2.00 por válvula. Se analizan dos cantidades, 642.3 y 700 unidades por pedido.

$$Q = 642.3: \quad TMC = \frac{Q}{2}\left(\frac{p-d}{p}\right)C + \left(\frac{D}{Q}\right)S + (D)ac$$

$$= \frac{642.3}{2}\left(\frac{120-40}{120}\right)(0.2 \times 2.0) + \left(\frac{10{,}000}{642.3}\right)5.5 + (10{,}000)2.0$$

$$= 85.63 + 85.63 + 20{,}000 = \$20{,}171.26 \text{ anuales}$$

$$Q = 700: \quad TMC = \frac{Q}{2}\left(\frac{p-d}{p}\right)C + \left(\frac{D}{Q}\right)S + (D)ac$$

$$= \frac{700}{2}\left(\frac{120-40}{120}\right)(0.2 \times 1.8) + \left(\frac{10{,}000}{700}\right)5.5 + (10{,}000)1.8$$

$$= 84.00 + 78.57 + 18{,}000 = \$18{,}162.57 \text{ anuales}$$

Mary Ann concluye que si se utilizan entregas graduales o parciales, deberán adquirirse 700 unidades por pedido.

4. Si le dan a elegir, el señor Swartz preferiría tener entregas parciales de las válvulas #3945 en cantidades de 700 unidades por pedido, porque el TMC de las entregas parciales es ligeramente inferior al correspondiente a los pedidos entregados todos de una vez.

Los descuentos por cantidad, cuando se utilizan con las fórmulas EOQ, empiezan a incluir más realismo en estos métodos de análisis. Aunque algunas hipótesis restrictivas siguen presentes en el Modelo III, suficientes decisiones reales de inventario se acercan a las hipótesis de este método para hacerlo una técnica valiosa en la administración de la producción y de las operaciones.

Determinación de los puntos de pedido

La tabla 10.6 contiene muchos términos de uso frecuente en el establecimiento de los puntos de pedido. Puede ser útil consultar ocasionalmente esta tabla conforme avancemos en la sección. Al establecer puntos de pedido en un sistema de inventarios de pedidos de cantidad fija de pedido, los gerentes de operaciones se tienen que enfrentar durante el plazo de entrega a una demanda incierta. La **demanda durante el plazo de entrega (DDLT,** por sus siglas en inglés) es la cantidad de material que se demandará mientras estemos esperando que llegue un pedido del material y se reabastezca el inventario. La variación en la demanda durante el plazo de entrega proviene de dos fuentes. Primero, el plazo de entrega requerido para recibir un pedido está sujeto a variación. Por ejemplo, los proveedores pudieran encontrar dificultades en el procesamiento de los pedidos y las empresas de autotransporte pueden tener fallas de equipo o huelgas que retrasen las entregas. Segundo, la demanda diaria del material está sujeta a variación. Por ejemplo, la demanda de los clientes por productos terminados está sujeta a grandes variaciones diarias y las demandas de los departamentos de producción de materias primas pueden variar, debido a cambios en los programas de producción. *Lo que hace particularmente preocupante para los gerentes de operaciones esta variación de la demanda durante el periodo del plazo de entrega, es que la incertidumbre los ataca cuando son más vulnerables: cuando están esperando a que llegue un pedido de materiales y los niveles de inventario son bajos.*

Si las órdenes llegan tarde o la demanda de materiales es superior a lo esperado mientras esperamos un pedido, puede ocurrir un faltante. **Faltante de almacén** significa que el inventario es insuficiente para cubrir la demanda del material durante el tiempo del plazo de entrega. Los gerentes de operaciones mantienen una existencia de seguridad, de manera que estos faltantes ocurran rara vez. Si mantenemos demasiada existencia de seguridad, el costo de almacenar estos materiales se hace excesivo; sin embargo, cuando se mantiene una existencia de seguridad muy pequeña, el costo de los faltantes se hace excesivo. Los gerentes de operaciones desean equilibrar estos dos costos al establecer los puntos de pedido.

La figura 10.6 ilustra las relaciones entre las variables involucradas en el establecimiento de los puntos de pedidos y de las existencias de seguridad. La relación de mayor importancia por conocer es:

Punto de pedido = Demanda esperada durante el plazo de entrega + Existencia de seguridad

$$OP = EDDLT + SS$$

Como se puede ver de la distribución de la demanda durante el plazo de entrega de la figura 10.6, para determinar el punto de pedido se agrega la existencia de seguridad a la demanda esperada durante el plazo de entrega. Si suponemos que podemos estimar con precisión el valor de la demanda esperada durante el tiempo de entrega a partir de registros históricos o de otras fuentes, entonces al determinar la existencia de seguridad también se determina el punto de pedido. Por lo tanto, cuando establecemos el nivel de existencia de seguridad de un material, simultáneamente establecemos el punto de pedido. Como podemos observar en la figura 10.6, al incrementar la existencia de seguridad de un material se reduce la probabilidad de su faltante en las existencias durante el plazo de entrega, lo que reduce el costo de los faltantes, pero tiene la desventaja de incrementar los costo de almacenar.

En el intento de equilibrar los costos de mantener demasiada o muy poca existencia de seguridad de cada uno de los materiales, los analistas han buscado soluciones óptimas a este problema. El obstáculo principal para determinar la existencia de seguridad óptima es estimar los costos de

TABLA 10.6 **TÉRMINOS DE USO FRECUENTE EN LOS ANÁLISIS DE LA PLANEACIÓN DE INVENTARIOS BAJO INCERTIDUMBRE**

Distribuciones DDLT continuas Distribuciones de probabilidad de todas las demandas posibles durante el tiempo de plazo de entrega (DDLT) donde DDLT es una variable aleatoria continua. En otras palabras, DDLT puede asumir cualquier valor continuo entre los valores DDLT extremos de la distribución. Ejemplos de estas distribuciones son la distribución normal, la t de Student, y la distribución exponencial.

Parámetros de la distribución DDLT Las medidas que describen las distribuciones DDLT. Por ejemplo:

EDDLT—Demanda esperada durante el plazo de entrega, es la media de las distribuciones DDLT.
σ_{DDLT}—Desviación estándar de la demanda durante el plazo de entrega, que es una medida de la dispersión de los valores de DDLT respecto a su media.

Parámetros de la distribución de la demanda diaria(d) Medidas que describen las distribuciones d. Por ejemplo:

$\bar{d}$—Media de la demanda diaria
σ_d—Desviación estándar de la demanda diaria, medida de cómo están dispersos los valores de d respecto a su media.

Distribuciones DDLT discretas Distribuciones de probabilidad de todas las demandas posibles durante el plazo de entrega (DDLT), donde DDLT es una variable aleatoria discreta. En otras palabras, DDLT sólo puede tomar algunos valores específicos entre los valores extremos DDLT de esta distribución. Ejemplos de estas distribuciones son la binomial, la hipergeométrica, la de Poisson y todo un conjunto de otras distribuciones de datos históricos de determinación empírica.

Parámetros de distribución del tiempo del plazo de entrega (LT) Medidas que describen las distribuciones LT. Por ejemplo:

$\overline{LT}$—Media del tiempo de entrega
σ_{LT}—Desviación estándar del tiempo de entrega, medida de la forma en que los valores LT están dispersos en relación con su media.

Nivel de existencia de seguridad óptimo Cantidad de existencia de seguridad, que es el punto de pedido (OP) menos la demanda esperada durante el plazo de entrega (EDDLT) que equilibra los costos por excedentes esperados y los costos por faltantes esperados durante el plazo de entrega.

Tablas de retribuciones Forma de análisis del nivel de existencia de seguridad y de problemas de puntos de pedido en planeación de inventarios bajo incertidumbre. Esta técnica calcula los costos esperados totales por excedentes y faltantes por tiempo de entrega por cada estrategia de punto de pedido. El punto de pedido con el costo esperado total mínimo es el punto de pedido óptimo. De ahí se deduce la existencia de seguridad óptima (SS = OP − EDDLT).

Riesgo de faltantes La probabilidad de que no todos los pedidos de los clientes o de los departamentos de producción puedan cubrirse directamente del inventario durante el plazo de entrega. El riesgo de faltantes es el complemento del nivel de servicio. Por ejemplo, si existe un riesgo de 10% de un faltante de almacén, entonces el nivel de servicio es de 90%.

Nivel de servicio Probabilidad de que no ocurra un faltante durante el tiempo de entrega. Por ejemplo, un nivel de servicio de 90% significa que existe una probabilidad de 10% de que no todas las órdenes puedan satisfacerse del inventario durante el plazo de entrega.

los faltantes. Sabemos que cuestan, pero, ¿cuánto? ¿Cuánta utilidad se pierde cuando perdemos o incomodamos a los clientes debido a faltantes de almacén? ¿Cuánto cuesta el que los departamentos de producción deban cambiar sus programas o detener la producción cuando experimentan faltantes de materias primas? Dada la dificultad para determinar con precisión el costo de los faltantes de almacén, los analistas han tomado otro camino para establecer las existencias de seguridad: la fijación de los puntos de pedido en niveles de servicio determinados por políticas gerenciales.

Establecimiento de los puntos de pedido de acuerdo con los niveles de servicio Los **niveles de servicio** se refieren a la probabilidad de que un faltante no ocurra durante el plazo de entrega. Los gerentes pudieran decir, por ejemplo, "queremos la probabilidad de 90% de que todos los pedidos de los clientes puedan servirse de inmediato directamente del inventario".

Distribuciones DDLT discretas y continuas Cuando el DDLT tiene un rango de tres a 15 unidades, como se muestra en el lado derecho de la figura 10.7, una **distribución DDLT discreta** puede

FIGURA 10.6 RELACIONES ENTRE DDLT, EDDLT, SS, OP Y LA PROBABILIDAD DE FALTANTES PARA CADA CICLO DE REORDEN

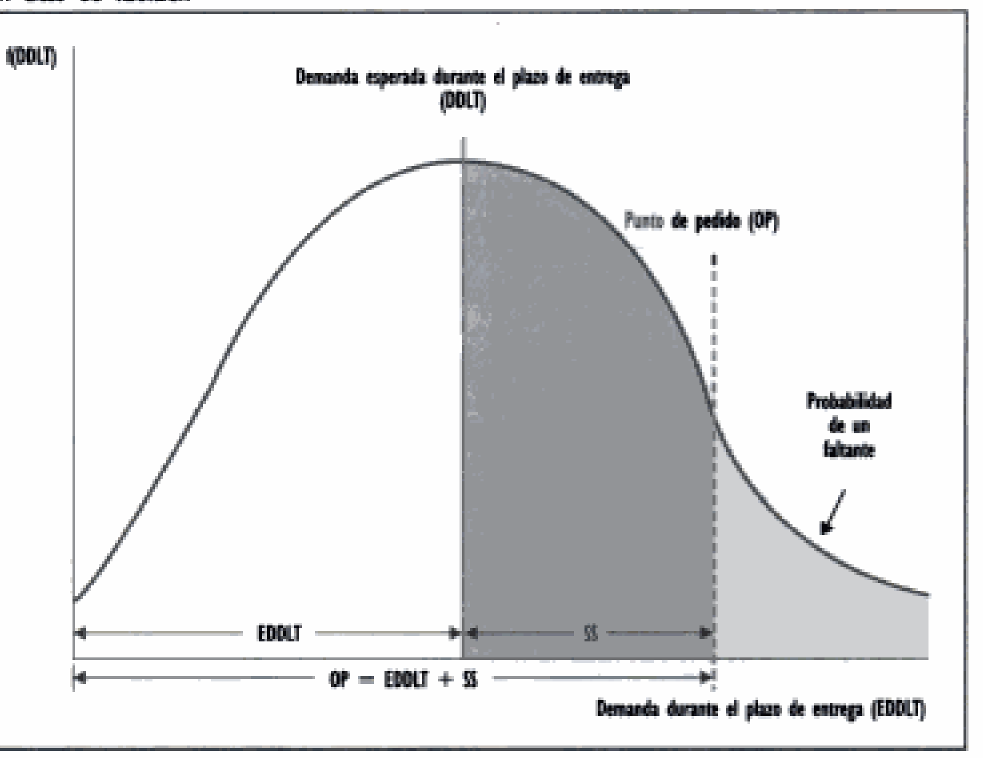
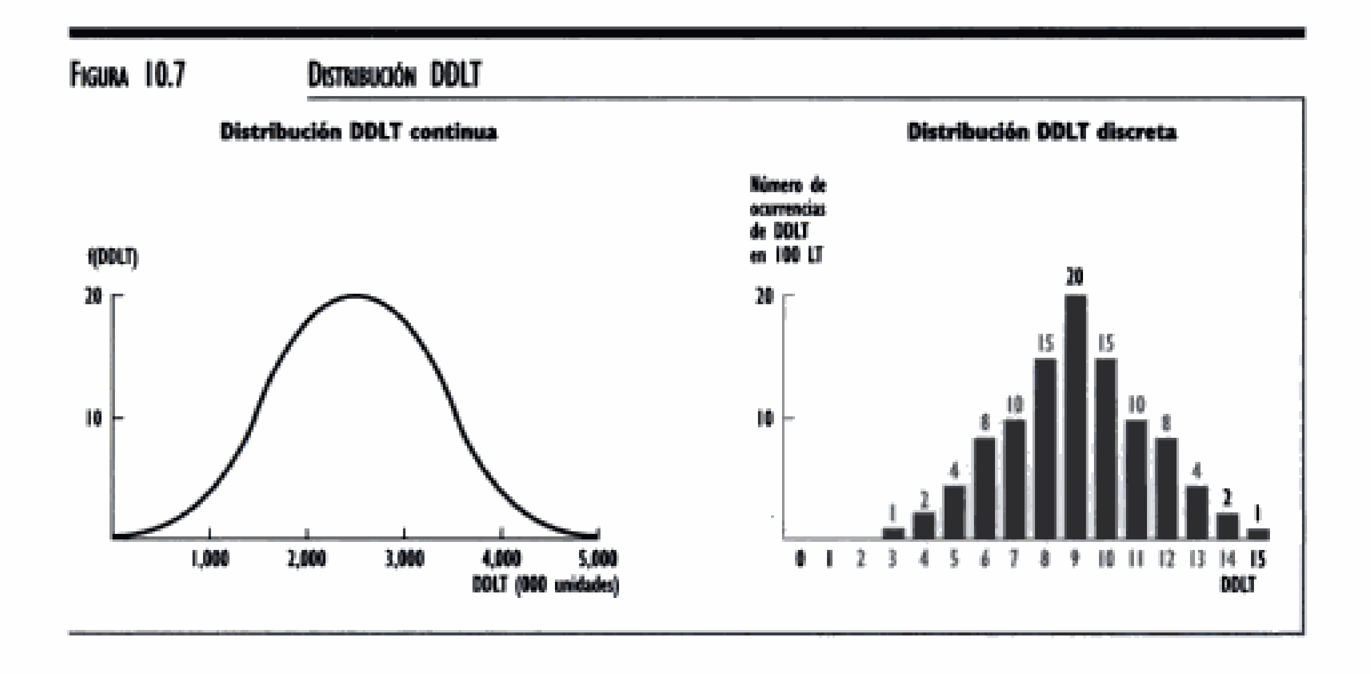


FIGURA 10.7 DISTRIBUCIÓN DDLT



resultar más precisa en su descripción de la ocurrencia del DDLT, ya que sus valores sólo pueden ser enteros de tres a 15 unidades. Cuando la cantidad de unidades en DDLT es muy grande, como se observa en el lado izquierdo de la figura 10.7, o cuando las unidades son divisibles, como en el caso de barriles de petróleo crudo, las distribuciones DDLT continuas describen con precisión la ocurrencia de DDLT. Cuando hay suficientes datos históricos de la demanda durante el tiempo de entrega de un material, el establecimiento de niveles de existencia de seguridad resulta simple. El ejemplo 10.4 establece el nivel de existencia de seguridad para un material cuyo DDLT se ha clasificado en clases discretas.

EJEMPLO 10.4

ESTABLECIMIENTO DE UNA EXISTENCIA DE SEGURIDAD EN NIVELES DE SERVICIO PARA UNA DISTRIBUCIÓN DDLT DISCRETA

The Whipple Manufacturing Company elabora equipo de oficina. Uno de estos productos, la computadora con procesador de texto para empresas pequeñas, se fabrica para existencias y se mantiene en el inventario de productos terminados hasta que la piden los clientes. Cuando el inventario de productos terminados baja del punto de pedido, se coloca en el departamento de manufactura de Whipple un pedido para un lote de producción. La administración de Whipple desea determinar el nivel de existencia de seguridad que debe mantenerse de este artículo y ha descubierto la siguiente información: La demanda promedio diaria es de 6.0 unidades, el plazo de entrega promedio de la producción es de 10 días y los registros históricos muestran esta frecuencia del tiempo de entrega de la demanda real:

DDLT real	Frecuencia
21–30	0.05
31–40	0.10
41–50	0.15
51–60	0.20
61–70	0.20
71–80	0.15
81–90	0.10
91–100	0.05

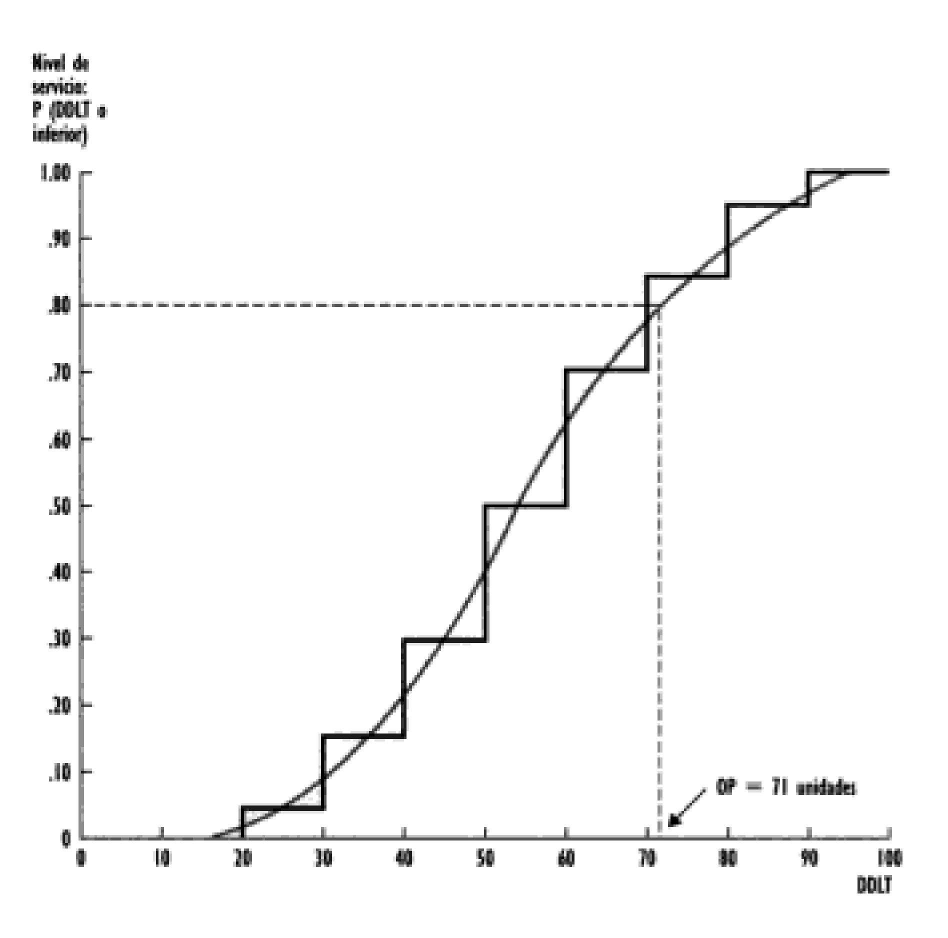
Si la administración de Whipple desea proporcionar un nivel de servicio de 80% durante el plazo de entrega: **a.** ¿Cuál es el punto de pedido? **b.** ¿Cuál es la existencia de seguridad?

SOLUCIÓN

a. Primero, utilice los datos DDLT para desarrollar una distribución acumulada de probabilidad del nivel de servicio:

DDLT real	Frecuencia	Nivel de servicio (probabilidad de DDLT o inferior)
11–20	0	0
21–30	0.05	0.05
31–40	0.10	0.15
41–50	0.15	0.30
51–60	0.20	0.50
61–70	0.20	0.70
71–80	0.15	0.85
81–90	0.10	0.95
91–100	0.05	1.00

A continuación, dibuje la gráfica de esta distribución acumulada:



La gráfica de datos discretos se convierte a una gráfica de datos estimados continuos dibujando una línea curva a través de los puntos medios de la parte superior de los escalones. Como podemos observar en esta gráfica, el punto de pedido es de 71 unidades. Si Whipple inicia un lote de producción cuando el inventario cae a 71 unidades, ocurrirán faltantes de almacén (DDLT > 71) aproximadamente 20% de las veces.

b. Determine el nivel de existencia de seguridad:

OP = EDDLT + Existencia de seguridad

Existencia de seguridad = OP − EDDLT = OP − [(Demanda promedio diaria) × (Plazo de entrega promedio)]

= 71 − (6.0 × 10) = 71 − 60 = 11 unidades

Nota: Este procedimiento para clasificar los valores históricos de DDLT en clases discretas tiene la ventaja de no tener que suponer una forma en particular (por ejemplo, la normal) para la función de probabilidad DDLT.

El ejemplo 10.5 demuestra la forma en que estableceríamos niveles de existencia de seguridad cuando el DDLT queda descrito por una distribución continua. Este ejemplo supone que el DDLT histórico de una materia prima realmente proviene de una distribución normal. Recuerde que anteriormente definimos el punto de pedido como:

Punto de pedido = Demanda esperada durante el plazo de entrega + Existencia de seguridad

Ejemplo 10.5

Establecimiento de una existencia de seguridad a niveles de servicio para un DDLT de distribución normal

Billie Jean Bray, gerente de materiales de injecto Wholesale Plastics, está intentando establecer el nivel de existencia de seguridad de la resina #942, que se vende a los clientes de INJECTO y se supone que su demanda durante el plazo de entrega tiene una distribución normal, con una media de 693.7 libras y una desviación estándar de 139.27 libras. a. ¿Cuál es el EDDLT de la resina #942? b. ¿Cuál es el sDDLT de la resina #942? c. Si el gerente de producción especifica un nivel de servicio de 95% para la resina #942 durante el plazo de entrega, ¿qué existencia de seguridad deberá mantenerse?

Solución

a. EDDLT es:

$$\text{EDDLT} = 693.7 \text{ libras}$$

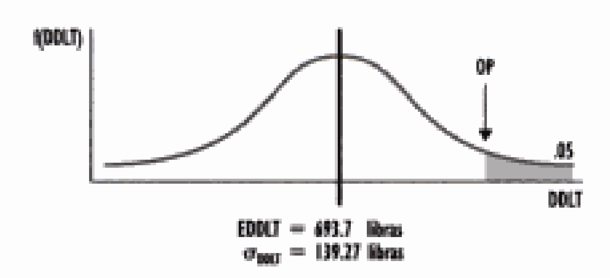
b. La desviación estándar DDLT es:

$$\sigma_{\text{DDLT}} = 139.27 \text{ libras}$$

Por lo tanto, tenemos una distribución normal de DDLT con una media de 693.7 y una desviación estándar de 139.27 libras. (Vea figura a continuación).

c. Calcule la existencia de seguridad (SS) para obtener un nivel de servicio de 95%; en otras palabras, ¿cuál es el nivel de DDLT que tiene una probabilidad de sólo 5% de que se exceda? Este es el punto de pedido:

$$\text{OP} = \text{EDDLT} + Z(\sigma_{\text{DDLT}})$$



El valor de Z se lee del Apéndice A. Localice 0,95 (el área a la izquierda de OP) en el cuerpo de la tabla, y después lea el valor de Z de 1.64. Ésta es la cantidad de desviaciones estándar que OP está alejado de DDLT:

$$\text{OP} = 693.7 + 1.64\ (139.27) = 922.1 \text{ libras}$$

A continuación se deduce la existencia de seguridad:

$$\text{SS} = \text{OP} - \text{EDDLT} = 922.1 - 693.7 = 228.4 \text{ libras}$$

Plazo de entrega constante y demanda diaria normalmente distribuida. Hay veces que resulta difícil obtener los datos de DDLT. En estos casos, a menudo conviene obtener datos de la demanda diaria y suponer un plazo de entrega constante. Dado que los datos de demanda diaria e histórica generalmente están muy disponibles y el plazo de entrega por lo general está sujeto a menor variación que la demanda diaria, este procedimiento puede resultar útil.

El ejemplo 10.6 desarrolla niveles de existencia de seguridad para un material al suponer un tiempo de entrega constante y una demanda diaria con distribución normal se obtiene una DDLT

con distribución normal al considerar la demanda esperada durante el plazo de entrega (EDDLT) y la desviación estándar de la demanda durante el plazo de entrega (σ_{DDLT}):

$$EDDLT = LT(\bar{d}) \quad y \quad \sigma_{DDLT} = \sqrt{LT(\sigma_d)^2}$$

A continuación se analiza la distribución DDLT resultante para calcular el valor de DDLT que nos dé el nivel de servicio especificado, y este valor es el punto de pedido (OP).

EJEMPLO 10.6

ESTABLECIMIENTO DE NIVELES DE EXISTENCIA DE SEGURIDAD PARA NIVELES DE SERVICIO PARA UN PLAZO DE ENTREGA CONSTANTE Y UNA DEMANDA DISTRIBUIDA NORMALMENTE

Bob Fero es analista de operaciones para Sell-Rite Discount Stores de Washington DC. Actualmente está estudiando las políticas de pedidos y almacenamiento en el almacén central de Sell-Rite para uno de sus artículos de mejor movimiento, un juguete para niños. Un examen de los datos históricos de oferta y demanda correspondiente a este artículo indica un tiempo de entrega prácticamente constante (LT) de 10 días y una abundante capacidad de producción permite una producción y tiempos de entrega muy uniformes. Bob también descubrió que la demanda diaria (d) tenía una distribución prácticamente normal, con una media ($\bar{d}$) de 1,250 juguetes diarios, con una desviación estándar (σ_d) de 375 juguetes diarios. **a.** Calcule el punto de pedido de este juguete si el nivel de servicio se especifica a 90% durante el plazo de entrega. **b.** ¿Qué existencia de seguridad se prevé en su respuesta del inciso (a)?

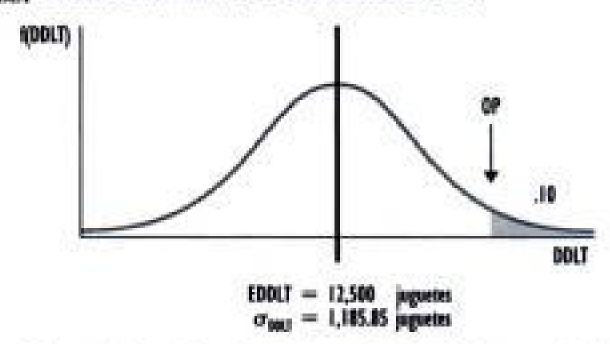
SOLUCIÓN

a. Calcule el punto de pedido:

1. Primero, calcule el EDDLT y el σ_{DDLT}:

$$EDDLT = \text{Plazo de entrega} \times \text{Demanda promedio diaria} = LT(\bar{d}) = 10(1,250)$$
$$= 12,500 \text{ juguetes durante el plazo de entrega}$$
$$\sigma_{DDLT} = \sqrt{LT(\sigma_d)^2} = \sqrt{10(375)^2} = 1,185.85 \text{ juguetes durante el plazo de entrega}$$

2. EDDLT y σ_{DDLT} describen totalmente la distribución DDLT:



3. A continuación, debemos determinar Z, el número de desviaciones estándar que OP está alejado de EDDLT. Busque 0.900 en el cuerpo de la tabla del apéndice A, y lea el valor correspondiente de Z de 1.28.
4. A continuación calcule el punto de pedido:

$$OP = EDDLT + Z(\sigma_{DDLT}) = 12,500 + 1.28(1,185.85) = 12,500 + 1,517.89$$
$$= 14,017.89 \text{ juguetes}$$

Los pedidos para el juguete se harían cuando el nivel de inventario cayera a 14,018 juguetes.

b. Calcule la existencia de seguridad (SS):

$$SS = OP - EDDLT = 14{,}018 - 12{,}500 = 1{,}518 \text{ juguetes}$$

Todos estos procedimientos para manejar explícitamente la incertidumbre en la planeación de los inventarios se han basado en que los gerentes especifiquen niveles de servicio para que se cumpla ya sea con una política de manufactura o con una política de mercadotecnia. Examinemos algunas reglas prácticas para la determinación de puntos de pedido y niveles de existencias de seguridad.

Algunas reglas prácticas para el establecimiento de puntos de pedido Quizás la regla práctica más común involucra establecer niveles de existencia de seguridad como un **porcentaje de** EDDLT:

Punto de pedido = EDDLT + j(EDDLT), donde j = un factor que varía de 0 a 3.00

Los materiales por lo general se clasifican de acuerdo a clases, como las que siguen:

Clase	Descripción	j
1	No crítico	0.10
2	Incierto-no crítico	0.20
3	Crítico	0.30
4	Incierto-crítico	0.50
5	Súper crítico	1.00
6	Incierto-súper crítico	3.00

Estas clasificaciones se tendrían que diseñar a la medida para el sistema de inventarios de una empresa y aplicarse de manera uniforme a la mayoría de los materiales en los inventarios de productos terminados y de materias primas.

Otro procedimiento establece la existencia de seguridad como igual a la **raíz cuadrada de EDDLT**:

$$\textbf{Punto de pedido} = \textbf{EDDLT} + \sqrt{\textbf{EDDLT}}$$

Este método selecciona niveles de existencia de seguridad grandes en relación con EDDLT, cuando EDDLT es pequeño, y relativamente pequeños cuando EDDLT es grande. Generalmente este procedimiento se aplica cuando los faltantes no son particularmente indeseables ni costosos.

Los métodos del porcentaje de EDDLT o de la raíz cuadrada de EDDLT para el establecimiento de puntos de pedido quedan demostrados con el ejemplo 10.7, en el que ambos métodos de cálculo del punto de pedido desarrollan existencias de seguridad de 12 y de ocho piezas diarias. ¿Cuál es el correcto? Ambos son matemáticamente válidos, pero la corrección de cada punto de pedido sólo es posible comprobarla mediante la experimentación: escoja uno y mantenga registros de DDLT conforme pase el tiempo. ¿La existencia de seguridad da el nivel deseado de protección contra faltantes de almacén?, ésta es la única prueba de validación de un punto de pedido.

EJEMPLO 10.7

USO DE LAS REGLAS PRÁCTICAS PARA ESTABLECER LOS PUNTOS DE PEDIDO

Dapple Manufacturing Company produce piezas de bronce fundido. Una de ellas la #699, se mantiene en inventario hasta que los clientes la piden a Dapple. George Dapple, gerente de materiales, está considerando con varios procedimientos para el establecimiento de puntos de pedido para los materiales. Como material para la investigación selecciona la pieza de fundición #699. Se reunieron los siguientes datos sobre la #699: la demanda promedio diaria es de seis piezas fundidas, el plazo de entrega promedio es de 10 días, el tiempo necesario para producir un lote de fundición. El estudio de George requiere lo siguiente: a. Si la existencia de seguridad se establece a 20% de DDLT, ¿cuál es el punto de pedido? b. Si la existencia de seguridad se fija como la raíz cuadrada de EDDLT, ¿cuál es el punto de pedido?

SOLUCIÓN

a. Punto de pedido = EDDLT + 0.2 (EDDLT)

= Demanda promedio diaria × Plazo de entrega promedio + 0.2 (EDDLT)

= 6.0(10) + 0.2(6.0 × 10) = 60 + 12 = 72 piezas de fundición

b. Punto de pedido = EDDLT + $\sqrt{\text{EDDLT}}$ = 60 + $\sqrt{60}$ = 60 + 7.75 = 67.75, o 68 piezas fundidas.

¿De qué manera el uso de las existencias de seguridad afecta la cantidad de pedido (EOQ) en un sistema de inventarios de pedidos de cantidad fija? ¡mínimamente, si es lo que afecta! Sin embargo, los costos totales anuales de posesión se afectan porque las existencias de seguridad causan los siguientes desarrollos:

- **Mayores costos anuales de almacenar.** Esto resulta del hecho que las existencias de seguridad se conservan como inventario muerto; en general, jamás se utilizan. El inventario adicional, por lo tanto, da como resultado mayores costos anuales de almacenar.
- **Costos menores anuales de faltantes.** Los modelos EOQ básicos no incluyen los costos de faltantes, por una buena razón: resultan difíciles de estimar. Pero conceptualmente, sabemos que el costo de los faltantes es real, y que se reduce mediante el uso de existencias de seguridad.

Hemos considerado la determinación de las cantidades de pedido y de los puntos de pedido en los sistemas de inventario de cantidad fija de pedido. Veamos ahora los sistemas de inventario de periodo fijo de pedido.

SISTEMAS DE PERIODO FIJO DE PEDIDO

Los **sistemas de periodo fijo de pedido** revisan los niveles de inventario en intervalos fijos de tiempo y se colocan pedidos que cubren material suficiente para que se recuperen los niveles de inventario hasta algún nivel determinado. Los pedidos se colocan en intervalos de tiempo igualmente espaciados y las cantidades pedidas en cada ciclo se calculan utilizando esta fórmula:

Cantidad de pedido = Meta superior del inventario − Nivel de inventario + EDDLT

La meta superior del inventario normalmente se determina a partir de la cantidad de espacio asignada a un material, ya sea en un almacén o en los anaqueles de una tienda. Si en el momento de la revisión del nivel de inventarios éste es relativamente bajo, se colocan cantidades más grandes. Si, por otra parte, durante la revisión los inventarios son elevados, se colocan cantidades menores.

El sistema de periodo fijo se emplea en inventarios donde resulte deseable contar físicamente los inventarios en una base periódica regular, como en algunas tiendas al menudeo. En estas situaciones, particularmente en el caso de bienes exhibición, donde no es factible una contabilidad perpetua de inventarios, el conteo periódico de materiales podría ser el sistema más práctico y sería apropiado el sistema de periodo fijo de pedido.

Una vez establecido el intervalo del pedido y conocidas las fechas de las revisiones de los inventarios, no es necesario que se vigile el nivel del inventario hasta la siguiente inspección. Entre estas revisiones, se combinan las incertidumbres de la demanda como del plazo de entrega para ofrecer a este sistema un riesgo mayor de faltantes de almacén que en el caso del sistema de cantidades de pedido fijo. Sin una revisión perpetua de los niveles de inventario, faltantes pueden ocurrir en los sistemas de periodo fijo de pedido, prácticamente en cualquier momento. El sistema de periodo fijo de pedido requiere por lo tanto de una existencia de seguridad más grande para hacer frente a este mayor riesgo de faltantes.

La selección de un punto de pedido para los materiales es la decisión clave en el sistema del periodo fijo de pedido. Si los materiales se revisan con demasiada frecuencia, los costos anuales de pedir son excesivos, pero si se revisan con muy poca frecuencia, las cantidades de pedido y los niveles de inventario serán demasiado elevados y aumentará la probabilidad de faltantes. Por lo

TABLA 10.7 **MODELO IV: PERÍODO ECONÓMICO DE PEDIDO**

Supuestos

1. Es posible estimar la demanda anual, el costo de mantenimiento y el costo de pedido y de material.
2. El inventario promedio es el tamaño promedio de pedido dividido entre dos. Esto implícitamente supone que no hay existencia de seguridad, que los pedidos se reciben todo de una vez, que los materiales se utilizan a una tasa uniforme y que en promedio los materiales se agotan cuando se recibe el siguiente pedido.
3. Se consideran inconsecuentes los faltantes de almacén, la sensibilidad a los clientes y otros costos.
4. No existen descuentos por cantidad.

Definiciones de variables

Aquí son aplicables las definiciones de variables del modelo I.* Además:

T = tiempo entre pedidos, como fracción de un año

Fórmulas de los costos

Costos anuales de mantenimiento = Inventario promedio × Costo de almacenar = $(DT/2)C$

Costo anual de pedir = Cantidad anual de pedidos × Costo por pedido
= $(D/DT)S = S/T$

Costo anual de posesión total (TSC) = Costo anual de almacenar + Costos anuales de pedir
= $(DT/2)C + S/T$

Deducción de la fórmula del periodo óptimo de pedidos

Determine la derivada de TSC con respecto a T igual a cero y resuelva en función de T:

1. La fórmula para TSC es: $TSC = (DT/2)C + S/T$
2. La derivada de TSC con respecto a T es: $d(TSC)/d(T) = (D/2)C - (S/T^2)$
3. Haga la derivada de TSC con respecto a T igual a cero y resuelva en función de T: $(D/2)C - (S/T^2) = 0$
   $T^2 = 2S/DC$
4. La T óptima es, por lo tanto: $T = \sqrt{2S/DC}$

*Vea la nota en la tabla 10.2.

tanto, el intervalo de tiempo entre revisiones debe ser tal que los costos anuales de almacenar queden equilibrados contra los costos anuales de pedir. La tabla 10.7 presenta los supuestos y definiciones de las variables, así como las fórmulas para el modelo IV: periodo fijo de pedido.

El ejemplo 10.8 aplica estas fórmulas para el periodo óptimo de pedido y la cantidad de pedido óptima de este modelo a un material en una empresa al mayoreo. Observe que T, que es el intervalo óptimo de tiempo para revisar el estado de un material y colocar un pedido de materiales, se expresa como una fracción de año. Observe también que T es un cálculo que sólo se haría aproximadamente una vez al año, en tanto que los cálculos de las cantidades de los pedidos deben efectuarse para cada uno de ellos. En otras palabras, T se conserva fijo durante un largo tiempo y se permite que Q varíe de un pedido al siguiente.

EJEMPLO 10.8

PERIODO ÓPTIMO DE PEDIDO EN UN SISTEMA DE INVENTARIOS DE PERIODO FIJO DE PEDIDO

El C, D & F Retailing Company revisa mensualmente los niveles de inventario de sus productos en exhibición y de ser necesario, envía pedidos para estos productos, a sus proveedores. El gerente regional se pregunta si las revisiones mensuales son óptimas al considerar tanto los costos de almacenar como los costos de pedir.

Se selecciona un producto como objeto de análisis: Goo-Goo, alimento infantil de cereal en envase de vidrio. Se desarrolló la siguiente información para Goo-Goo: D = 29,385 tarros anuales, C = 30% el

costo de adquisición, AC = \$129 por envase y S = \$10.90 por pedido. a. ¿Con qué frecuencia deberá pedirse Goo-Goo? b. En la primera revisión después de haber calculado T en el inciso a, si el nivel de inventario es igual a 985 tarros, la meta superior del inventario (incluyendo la existencia seguridad = 3,220 tarros) y la demanda esperada durante el plazo de entrega = 805 tarros, ¿cuántos tarros deberán pedirse?



a. $C = 0.3 \times 0.29$

$$T = \sqrt{\frac{2S}{DC}} = \sqrt{\frac{2(10.9)}{(29.385)(0.3 \times 0.29)}} = 0.0923 \text{ años} = 33.7 \text{ días}$$

b. Cantidad de pedido = meta superior del inventario − nivel de inventarios + EDDLT

= 3,220 − 985 + 805 = 3,040 tarros

Se pueden deducir las siguientes generalizaciones a partir de la fórmula para T:

1. Los materiales más costosos se revisan con mayor frecuencia.
2. Los materiales con ritmos más elevados de uso se revisan con mayor frecuencia.
3. Los materiales con costos de pedir superiores se revisan y piden con mayor frecuencia.

Aparentemente estos son criterios racionales para la determinación del intervalo de los pedidos para los materiales.

OTROS MODELOS DE INVENTARIOS

Aunque los modelos de cantidad fija de pedido y de sistema de periodo fijo de pedido son bien conocidos, también se utilizan otros modelos de inventarios. Entre ellos, son de hacerse notar los modelos híbridos y los modelos de un solo periodo.

MODELOS DE INVENTARIO HÍBRIDOS

Algunos modelos de inventario incluyen algunas, pero no todas de las características de los modelos de los sistemas de cantidad fija de pedido y de periodo fijo de pedido. Uno de estos modelos es el **modelo de reabastecimiento opcional.** Al igual que el sistema de periodo fijo de pedido, los niveles de inventario se revisan en un intervalo fijo de tiempo y se coloca un pedido lo suficientemente grande para llevar el inventario a la meta superior del inventario. Pero, a diferencia de los sistemas de periodo fijo de pedido, a menos que en el momento de la revisión el inventario haya caído por debajo de un cierto nivel mínimo, no se coloca pedido de reabastecimiento. Este modelo protege contra colocación de pedidos muy pequeños y resulta atractivo cuando los costos de revisión y de pedir son grandes.

Un **modelo de existencia base** es un sistema muy simple de planeación de inventarios. Empieza con un cierto nivel de inventarios y entonces, siempre que se haga un retiro del inventario, se coloca un pedido de reabastecimiento igual al retiro. Este modelo asegura que el inventario se mantendrá a un nivel aproximadamente constante. Por lo general el inventario inicial es igual al EDDLT más la existencia de seguridad y se colocan muchos reabastecimientos con montos relativamente pequeños. Este tipo de sistema sería apropiado para elementos o artículos muy caros con costos de pedir reducidos.

Algunas empresas utilizan simultáneamente más de uno de los sistemas de abastecimiento opcional, de existencia base, de cantidad fija de pedido y de cantidad de periodo fija, pero en diferentes departamentos de producción. Por ejemplo, un detallista podría utilizar el periodo fijo de pedido en la parte del negocio que ven los clientes, sobre el piso de exhibición, donde realizar conteos físicos es la única manera de determinar niveles precisos de inventarios, pero se podría utilizar cantidad fija de pedido en la parte trasera del negocio, en el almacén, donde pudiera estar en opera-

ción un sistema de inventarios perpetua de contabilidad computarizado, por lo que se podrían utilizar simultáneamente varios modelos de inventarios, cada uno de ellos más adecuado a su aplicación particular.

MODELOS DE INVENTARIOS DE UN SOLO PERIODO

Algunos problemas de inventarios involucran determinar una cantidad de pedido para un artículo que cubre la demanda de un solo periodo. Este tipo de problema es común para materiales de vida corta, como bienes de moda, alimentos perecederos y publicaciones como revistas y periódicos. Estos problemas de inventarios tradicionalmente se conocen como **problemas del periodiquero.** Por estructura de estos problemas resulta particularmente adecuada para el uso de tablas de retribución.

Las tablas de retribución se aplican a una amplia gama de problemas de almacenamiento, cuando los gerentes de operaciones encaran una demanda incierta y cuesta almacenar demasiados o demasiados pocos. Por ejemplo, los detallistas deben decidir cuantas unidades en particular almacenar para la semana que viene, dados los muchos niveles posibles de demanda del producto. En estas situaciones, muchos gerentes de operaciones deben evaluar las muchas alternativas disponibles para cumplir con los estados inciertos de la naturaleza.

¿Cómo escogen los gerentes de operaciones entre alternativas? Por lo general utilizan una de estas reglas o criterios: 1) Escoge la alternativa que tenga la utilidad esperada más elevada. 2) Escoge la alternativa que minimice los costos totales esperados por excedentes y faltantes menores. 3) Escoge la alternativa que minimice los costos esperados totales. Dado que los gerentes de operaciones por lo común prefieren maximizar las utilidades esperadas, por lo general se prefiere la regla 1. La regla 2 también se utiliza a menudo, y si hay utilidades involucradas da resultados equivalentes en la regla 1. Cuando no hay ingresos involucrados, como en el caso de oficinas gubernamentales o de organizaciones no lucrativas, o cuando los ingresos no se pueden atribuir de manera precisa a productos específicos o a unidades que se están almacenando, con frecuencia se utiliza la regla 3.

Dado que la elección de la regla o criterio utilizado para decidir entre alternativas puede afectar la alternativa que se seleccione, es importante elegir cuidadosamente la regla más apropiada para la situación de decisión que se analiza. El ejemplo 10.9 demuestra la forma en que los gerentes de operaciones utilizan las tablas de retribución cuando se emplean diferentes criterios de decisión.

Una complicación que frecuentemente encuentran los estudiantes es la presencia de los **costos de oportunidad.** Se incurre en estos costos cuando, por ejemplo no se almacenan suficientes unidades al principio del periodo, y la demanda excede la cantidad de unidades almacenadas en algún momento durante el periodo. Estos costos aparecen en forma de utilidades no aprovechadas. A menudo en este tipo de problema nos confundimos en la manera que debemos incorporar estos costos de oportunidad en nuestras tablas de retribución. En el ejemplo 10.9 se demuestran dos procedimientos igualmente aceptables:

1. Minimizar los costos totales esperados por excedentes y faltantes, donde los faltantes representan la utilidad por unidad. Los costos por excedentes se incorporan como siempre.
2. Maximice las utilidades esperadas totales. Observe en el ejemplo 10.9 que las utilidades por unidad son de $5 y que en el caso de Stocking Strategy 200, siempre que la demanda sea de 200, 300, 400 o 450, las utilidades serán de $1,000. En este tratamiento, siempre que la demanda excede a la oferta, la cantidad de unidades vendidas es la cantidad de unidades almacenadas y las utilidades se penalizan implícitamente conservándose iguales, independientemente de la creciente demanda. Por lo tanto, el costo por faltantes unitario implícito es la utilidad unitaria total. Los costos por excedentes se incorporan como siempre.

EJEMPLO 10.9

TABLAS DE RETRIBUCIÓN: UNA DECISIÓN DE ALMACENAMIENTO DE MENUDEO

Fashion Retailers Inc. está tratando de decidir cuantas bufandas de seda 325 almacenar para su venta la siguiente temporada. La historia de ventas de este artículo es como sigue:

Número de temporada	Bufandas demandadas (SN)	Probabilidades de demanda de bufandas P(SN)
1	100	0.1
1	200	0.1
4	300	0.4
3	400	0.3
1	450	0.1
Total 10		1.0

La bufanda 325 se vende a $15 la unidad y tiene un costo de bienes vendidos de $10 por unidad. Si una de estas bufandas se almacena para su venta pero no se vende durante la temporada, costará $2 el venderla en barata la siguiente temporada, es decir, el costo por excedentes. a. Utilice las tablas de retribución para minimizar los costos totales esperados por excedentes y por faltantes. ¿Cuál es el valor esperado de la información perfecta (EVPI)? Explique su significado. b. Utilice las tablas de retribución para maximizar las utilidades totales esperadas. Calcule el EVPI. c. ¿Qué estrategia de almacenamiento es la mejor para la bufanda 325? Explique la equivalencia de las soluciones de los incisos a y b arriba.

SOLUCIÓN

a. Utilice las tablas de retribución para minimizar los costos totales esperados por excedentes y por faltantes. ¿Cuál es el EVPI? Explique su significado.

Primero, llene una tabla de retribución que minimice los costos totales esperados por excedentes y por faltantes donde los costos por excedentes son $2 por unidad y los costos por faltantes $5 por unidad, es decir la unidad perdida por ventas desaprovechadas.

	S_j \ SN_i	100	200	300	400	450	Costos totales esperados por excedentes y por faltantes EC = $\Sigma[P(SN_i)c_{ij}]$
		Estados de la naturaleza					
Estrategias	100	$ 0	$500	$1,000	$1,500	$1,750	$1,075
	200	200	0	500	**1,000**	1,250	645
	300	400	200	**0**	500	750	285
	400	**600**	400	200	0	250	205
	450	700	500	300	100	0	270
	$P(SN_i)$	0.1	0.1	0.4	0.3	0.1	

El procedimiento de las tablas de retribución se puede ilustrar al explicar los tres elementos en negritas en la tabla en detalle, utilizando S_j para que signifique estrategias de almacenamiento y SN_i para que represente los *estados de la naturaleza,* es decir los niveles inciertos de la demanda:

- **S de 200 y SN de 400:** Los $1,000 que se encuentran en esta posición significan que si se selecciona una estrategia de almacenamiento de 200 unidades y se experimenta una demanda de 400 unidades, esto colocaría a la empresa con un faltante de 200 unidades durante la temporada. Dado que los costos por faltantes son $5 por unidad los costos faltantes del periodo son de $5 por unidad multiplicado por 200 unidades, lo que es igual a $1,000.
- **S de 300 y SN de 300:** El cero que se encuentra en esta posición significa que como la estrategia cumple exactamente con el estado de la naturaleza, no hay ni costos por faltante ni costos por excedentes.
- **S de 400 y SN de 100:** Los $600 que se encuentran en esta posición significan que se selecciona una estrategia de almacenamiento de 400 unidades y se experimenta una demanda de 100 unidades, esto resultará en un exceso de inventario de 300 unidades al final de la temporada. El costo por excedentes de la temporada es de 300 unidades multiplicada por $2 por unidad, lo que da igual a $600.

Todos lo demás elementos de la tabla de retribución se calculan de manera similar. La columna de (EC) de la tabla se completa sumando a lo largo de cada hilera de estrategia (SJ) los productos de la probabilidad de los estados de la naturaleza P(SNi) por su CiJ. Por ejemplo el EC de SJ = 400 unidades se calcula de la siguiente manera:

$$EC = 0.1(600) + 0.1(400) + 0.4(200) + 0.3(0) + 0.1(250)$$
$$= 60 + 40 + 80 + 0 + 25 = 205$$

¿Qué es EVPI y cuál es su significado? El EVPI es $205, es el valor del total mínimo esperado de los costos por excedentes y faltantes deducidos de la tabla de retribuciones citada. El EVPI significa que si toda la incertidumbre del problema pudiera eliminarse a través de alguna investigación de mercado perfecta, o por cualquier otro medio, se pudiera ahorrar un promedio de $205 por temporada al eliminar completamente los costos por excedentes y faltantes. En otras palabras, se podrían gastar hasta $205 por temporada para una información de mercado perfecta que eliminase la incertidumbre. Los costos de excedentes y faltantes por cada nivel de demanda, bajo la condición de información perfecta, se encuentran en la diagonal de la tabla de retribución. Dado que en la diagonal sus valores son iguales a cero, los costos esperados totales de excedentes y faltantes también son iguales a cero. La diferencia entre los costos totales esperados de excedente y de faltantes bajo condiciones de información perfecta ($ 0), y bajo condiciones de información imperfecta, es decir de incertidumbre ($205), es el EVPI.

b. Utilice las tablas de retribución para maximizar las utilidades esperadas totales. Calcule el EVPI.

Primero, complete la tabla de retribución que maximice las utilidades totales esperadas (vea la tabla de retribución que sigue). Los elementos en negrita de la tabla se explican como sigue:

- **S de 200 y SN de 400:** Los $1,000 que se encuentran en esta posición significan que si se selecciona una estrategia de 500 unidades y se experimenta una demanda de 400, los ingresos serían iguales a 15 multiplicado por $200, es decir $3,000, y el costo de los bienes vendidos sería de 10(200), es decir $2,000 para una utilidad de $1,000 para la temporada.
- **S de 300 y SN de 300:** Los $1,500 que se encuentran en esta posición significan que la estrategia coincide exactamente con el estado de la naturaleza, los ingresos serían de 15(300), es decir $4,500, y el costo de los bienes vendidos sería de 10(300), es decir $3,000, con una utilidad de $1,500 para la temporada.

Estados de la naturaleza

	SN_i / S_j	100	200	300	400	450	Utilidades esperadas totales $EP = \Sigma[P(SN_i) \times \pi_{ij}]$
Estrategias	100	$ 500	$ 500	$ 500	$ 500	$ 500	$ 500
	200	300	1,000	1,000	**1,000**	1,000	930
	300	100	800	**1,500**	1,500	1,500	1,290
	400	**(100)**	600	1,300	2,000	2,000	1,370 ←
	450	(200)	500	1,200	1,900	2,250	1,305
	$P(SN_i)$	0.1	0.1	0.4	0.3	0.1	

Nota: π_{ij} es la utilidad de S_j y de SN_i.

- **S de 400 y SN de 100:** Los $100 significan que si se selecciona una estrategia de 400 unidades y se experimenta una demanda de 100 unidades, los ingresos serían de 15(100), es decir $1,500; el costo de los bienes vendidos sería de 10(100), es decir $1,000, y los costos por excedentes serían de 2(300), es decir $600. Las utilidades serían entonces de $100 para la temporada.

Todos los elementos de la tabla de retribución se calculan de manera similar. La columna de la utilidad esperada (EP) se completa al sumar en cada hilera de estrategia (S_j) los productos de la probabilidad de los estados de la naturaleza $P(SN_i)$ por su π_{ij}. Por ejemplo, el EP de $S_j = 400$ unidades se calcula como sigue:

$$EP = 0.1(-100) + 0.1(600) + 0.4(1{,}300) + 0.3(2{,}000) + 0.1(2{,}000)$$
$$= -10 + 60 + 520 + 600 + 200 = 1{,}370$$

Ahora calcule el EVPI:

$$EVPI = [0.1(500) + 0.1(1{,}000) + 0.4(1{,}500) + 0.3(2{,}000) + 0.1(2{,}250)] - 1{,}370 = \$205$$

Las utilidades para cada nivel de la demanda bajo condiciones de información perfecta se encuentran en la diagonal de la tabla de retribución. Las utilidades totales esperadas bajo condiciones de información perfecta, menos las utilidades totales esperadas máximas bajo condiciones de información imperfecta, es decir bajo condiciones de incertidumbre, es el valor de EVPI.

c. ¿Cuál es la mejor estrategia de almacenamiento para la bufanda 325? Explique la equivalencia de la solución de los incisos a y b anteriores.

La mejor estrategia de almacenamiento es de 400 unidades de bufandas 325. Esta alternativa es la preferida independientemente de que se utilice el criterio de utilidades totales esperadas, o de los costos totales esperados por excedentes o faltante. La equivalencia de ambos análisis es evidente al comparar sus tablas de retribución. Por ejemplo, se puede observar que la diferencia entre la estrategia optima de 400 unidades y cualquier otra estrategia de almacenamiento es la misma en ambos análisis: Para una estrategia de 200 unidades, los costos se incrementan (645 − 205 = 440) y las utilidades se reducen (1,370 − 930 = 400) por la misma cantidad. El criterio de minimizar los costos totales esperados (costos de los bienes vendidos, costos de excedentes y costos por faltantes) sería inapropiado en este ejemplo debido a la presencia de ingresos.

Las tablas de retribución son una herramienta efectiva para analizar decisiones de un solo periodo bajo condiciones de incertidumbre. Su flexibilidad en la evaluación de una multitud de decisiones de almacenamiento, de administración de la producción y de operaciones es quizás su arma más poderosa. El efectivo, las refacciones de mantenimiento, los trabajadores, los artículos en el inventario, la capacidad de producción, las máquinas en espera y la capacidad de servicio, son todas ellas decisiones de almacenamiento de un solo periodo que se pueden analizar mediante tablas de retribución cuando resultan inciertos los niveles de la demanda o de los estados de la naturaleza.

ALGUNAS REALIDADES DE LA PLANEACIÓN DE INVENTARIOS

Hemos estudiado varios procedimientos analíticos para la planeación de los inventarios. Ahora necesitamos considerar la magnitud del problema y algunas de las dificultades prácticas que enfrentan los gerentes de operaciones en la toma de estas decisiones.

CLASIFICACIÓN ABC DE LOS MATERIALES

Debido a la gran cantidad de materiales que se utilizan en la producción en muchas plantas de manufactura, puede resultar deseable clasificar los materiales según el nivel de análisis que ameriten. Un procedimiento para clasificar los materiales es el método ABC, que se basa en la idea de que sólo un pequeño porcentaje de los materiales representa la mayor parte del valor del inventario. La figura 10.8 ilustra el método ABC de clasificación de los materiales.

Estas observaciones sobre la clasificación ABC explica la interpretación de la figura 10.8:

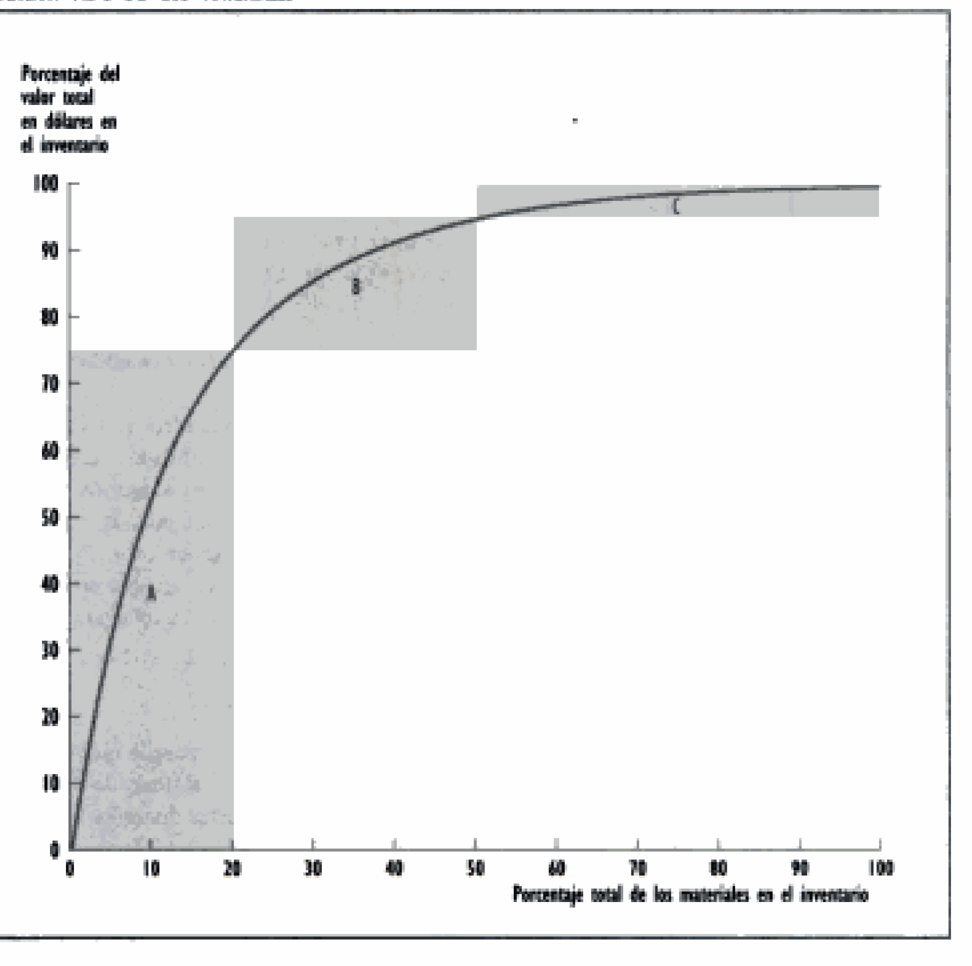
1. Los materiales A representan sólo 20% de los materiales en inventario, pero contienen 75% de su valor de inventario.
2. Los materiales B representan 30% de los materiales en inventario y el 20% del valor del inventario.
3. Los materiales C representan 50% de los materiales del inventario y sólo 5% del valor en el inventario.

Esta clasificación sugiere que mientras más elevado sea el valor del inventario de un material, éste deberá analizarse con más detalle. Por lo general, los materiales A se analizarían de manera extensiva y los materiales C se analizarían muy poco.

Sin embargo, debe utilizarse el juicio en la aplicación de este procedimiento o en cualquiera de los modelos de inventario de este capítulo, ya que otros factores de tipo práctico pueden resultar vitales en las decisiones de inventario. Deben hacerse excepciones para ciertos tipos de materiales:

- **Materiales críticos para la producción.** Dado que los faltantes de estos materiales pueden parar totalmente líneas completas de producción, pudieran justificarse inventarios mayores.
- **Materiales con una vida de estantería corta.** Dado que estos materiales pueden estar sujetos a una obsolescencia o deterioro muy rápidos, pudieran justificarse inventarios menores.

FIGURA 10.8 CLASIFICACIÓN ABC DE LOS MATERIALES



- **Materiales muy grandes y voluminosos.** Dado que estos materiales requieren tanto espacio de almacenamiento, se pueden justificar inventarios menores.
- **Materiales valiosos sujetos a robo.** Para reducir el riesgo de pérdidas, se puede justificar inventarios menores.
- **Materiales con plazos de entrega muy erráticos.** Pedidos más grandes de estos materiales reducen la cantidad de pedidos durante el año y mitigan la incertidumbre del suministro.
- **Materiales con demanda muy errática.** Pedidos grandes y puntos de pedido elevados pueden justificarse en el caso de materiales con demandas impredecibles.
- **Empaque, contenedor de embarque o tamaño de vehículo estandarizados.** Pudiera justificarse cantidades diferentes al EOQ debido a costos adicionales si el tamaño del pedido se aleja del estándar usual.

EOQ Y LA INCERTIDUMBRE

Las cantidades de pedidos y los puntos de pedido requieren el uso de información sujeta a incertidumbre. Vuelva a ver la figura 10.2. Observe que los errores de estimación de la demanda (D), del costo de mantenimiento (C) y del costo de pedir (S) nos moverán hacia la derecha o hacia la izquierda del EOQ a lo largo de la curva de costo de posesión total anual correspondiente a un material. El movimiento en cualquiera de las direcciones incrementa nuestros costos anuales de posesión de un material. Observe, sin embargo, que esta curva tiende a ser bastante plana cerca del EOQ; algo que puede considerarse típico. Por lo general, no es significativo el impacto total de los errores en la estimación de la cantidad para un material. Sin embargo, cuando se llevan en inventario decenas de miles de artículos, el impacto de los errores de estimación se amplía tremendamente.



Los registros de los inventores se mantienen rutinariamente con el uso de las computadoras, lo cual permite que la dirección acceda en cualquier momento a la infomación crítica para la planeación.

Quizás todavía más preocupante para las decisiones de inventario en la administración de la producción y de las operaciones son los costos no incluidos en las fórmulas EOQ. Los costos asociados con los faltantes, la calidad del arranque, la sensibilidad hacia el cliente, la producción, la coordinación de la producción, el rendimiento diluido sobre la inversión, una menor capacidad, la calidad de lotes grandes y de los problemas de producción son reales y substanciales, y debieran afectar las decisiones de pedir, pero los modelos EOQ no incorporan directamente estos costos. En la práctica, cuando estos costos son factores importantes, las decisiones de pedir se ajustan correspondientemente. Por ejemplo, si resultan predominantes los costos por faltantes, las cantidades de pedido y los costos de pedido se harán grandes. La filosofía EOQ sigue siendo aplicable en estas situaciones, pero otros tipos de costos se pueden incluir implícitamente en los modelos.

Otra táctica de administración de producción y de operaciones totalmente pragmática para todos los tipos de producción es establecer procedimientos de urgencia para el reabastecimiento rápido de inventarios. Estos procedimientos serán para evitar faltantes y poder tener menores niveles de existencia de seguridad. Un buen ejemplo del uso de procedimientos de reabastecimiento de urgencia se encuentra en hospitales, muchos de los cuáles tienen disponibles helicópteros para suministro de materiales críticos de otros hospitales o de almacenes de suministro.

Dinámica de la planeación de inventarios

Prácticamente todos los sistemas de inventarios revisan continuamente sus prácticas de pedir y modifican, según se requiera, sus cantidades de pedido, sus puntos de pedido y sus intervalos de tiempo, para obtener el tipo de desempeño de los inventarios que se desea. Cuando vemos la planeación de los inventarios como un sistema dinámico, continuamente modificado según las necesidades, debe hacerse menos énfasis en cualquier tipo de cálculo. De hecho, en vez de utilizar EOQ, muchas empresas establecen cantidades *iniciales* de pedido basados en la tradición, en estimaciones aproximadas y en otros factores. Después, incrementan o reducen las cantidades de pedido para que se ajusten a sus patrones de demanda y suministro, por lo que los sistemas de inventarios desarrollan de manera empírica las cantidades puntos de pedido, de manera que no resulten faltantes excesivos en los inventarios, ni inventarios excedentes.

Otros factores que afectan la planeación de los inventarios

La cantidad de un material que es posible pedir *puede* estar restringida. Por ejemplo, la capacidad del almacén puede limitar la cantidad de pedido de un material. También la capacidad de producción y los programas de producción de otros productos pueden limitar el tamaño de las cantidades de pedido.

Un factor que hace que las cantidades de pedido sean mayores que el EOQ son compras especiales de materiales. Cuando el área de adquisiciones descubre una oferta, los ahorros y los des-

INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 10.1

LOS GERENTES UTILIZAN COMPUTADORAS PARA TOMAR DECISIONES SOBRE INVENTARIOS

Compañías como Hallmak Cards, Wal-Mart, Dayton Hudson y Kmart están utilizando información de computadoras para administrar todos los aspectos de los inventarios. A continuación damos algunos ejemplos interesantes que ilustran la manera en que se utilizan las computadoras:

- Hallmark Cards introdujo un nuevo adorno para arbolito de Navidad de $24. La información de la computadora permitía a la empresa desplazar los inventarios de tiendas con una existencia en exceso a tiendas con baja existencia.
- En una tienda Kmart, la información de computadora indicó que las ventas de las piñas de pino perfumadas en una cesta de mimbre se estaba quedando atrás en relación con las ventas de otras tiendas Kmart. La computadora indicaba que el costo para Kmart era de $4.68, por lo que el precio de las cestas se redujo de $9.99 a $7.99 y las ventas de este artículo se elevaron.
- Los compradores de Kmart notaron de la información de la computadora que las ventas del caballito de madera eran de aproximadamente el doble en ese momento de la temporada a las correspondientes al año anterior. Rápidamente pidieron al fabricante el doble de artículos para la temporada.
- También en Kmart. En el pasado, si un artículo se vendía más lentamente de lo esperado, se hubiera vendido con descuento en todas las tiendas. Ahora, con la información por computadora sobre ventas, un artículo se descontará sólo en aquellas tiendas que tengan las ventas bajas.
- Con información de computadora sobre ventas diarias, se han modificado las ideas respecto al inventario de Kmart. Ahora, dado que las ventas de cada artículo para San Valentín se conoce día con día conforme se va acercando el 14 de febrero, cada vez se toman más tarde las decisiones para poner en venta con descuento los artículos de bajo movimiento, por lo que los bienes no se venden con descuento innecesariamente.
- También en Kmart, la computadora ha desenterrado hechos demográficos interesantes. Se supo que la venta de confeti era mayor en zonas donde viven latinoamericanos en semana santa, por lo que se almacenaron inventarios más grandes de confeti en tiendas cercanas a sus vecindarios.
- De la información de la computadora se determinó que si alguien en una ciudad del medio oeste adquiere pañales desechables a las 5:00 PM, el artículo más común que comprará después será un paquete de seis botellas de cerveza. Para aumentar la venta de botanas de la tienda puso un exhibidor cerca de los pasillos de los pañales. La venta de botanas se elevó 17%.

Fuente: "Computers Manage Holiday Stock." *Wall Street Journal,* Diciembre 23 de 1992, B1.

cuentos por cantidad pueden ser tan espectaculares que una empresa adquirirá todo lo que pueda de ese material. Aunque esto suele hacer estragos en el almacenamiento e incrementa otros costos, los ahorros en la compra pueden ser tan importantes que ocasionalmente las empresas efectúan estas compras especiales.

COMPUTADORAS Y LA PLANEACIÓN DE INVENTARIOS

Una de las primeras áreas en los negocios que se benefició por la computarización fue la planeación de inventarios. La Instantánea Industrial 10.1 nos informa que, los registros de existencias de inventarios se mantienen de manera rutinaria utilizando computadoras. Conforme van ocurriendo cambios en los niveles de los inventarios, los archivos de computadora se modifican para reflejar las últimas transacciones de los inventarios. Los gerentes pueden consultar estos archivos y determinar instantáneamente cuanto material está en el inventario, cuánto está en pedido y cuando se espera recibir ciertos pedidos, así como otra información vital para la administración de inventarios. El cálculo de las cantidades de pedido, la determinación de cuándo deberían hacerse los pedidos y la impresión de las requisiciones así como pedidos de compra se hacen rutinariamente por computadoras. Algunos ejemplos de sistemas de información de administración con software incorporado de administración de inventarios son Paragon Applications (**www.paragonms.com**), SKEP (**www.adaptasolutions.com**), Glovia (**www.glovia.com**), Macola (**www.macola.com**), SAP (**www.sap.com**), y Baan (**www.baan.com**).



TABLA 10.8 **RESUMEN DE LOS MODELOS DE PLANEACIÓN DE INVENTARIOS**

Definiciones de variables

ac = costo de adquisición: costo de producir o de adquirir una unidad de un material (dólares por unidad)
C = costos de almacenar: costo de mantener una unidad en el inventario durante un año (dólares por unidad); proporción del valor que es el costo de poseer multiplicado por ac
D = demanda anual de un material (unidades por año)
d = tasa a la cual se consumen los materiales del inventario (unidades por periodo de tiempo)
$\bar{d}$ = la media de d, demanda por periodo de tiempo (unidades por periodo de tiempo)
DDLT = demanda durante el plazo de entrega (unidades)
EDDLT = demanda esperada durante el plazo de entrega (unidades)
EOQ = cantidad económica de pedido: cantidad óptima de material a pedir (unidades por pedido)
j = porcentaje de EDDLT como existencia de seguridad
LT = plazo de entrega (número de periodos de tiempo)
OP = punto de pedido; punto en el cual deben pedirse lo materiales (unidades o punto en el tiempo)
p = tasa a la cual los materiales se suministran al inventario (mismas unidades que d)
Q = cantidad de material pedido en cada punto de pedido (unidades por pedido)
σ_{DDLT} = desviación estándar de DDLT
σ_d = desviación estándar de d
S = costo promedio de realizar un pedido para un material (dólares por pedido)
SS = existencia de seguridad (unidades)
T = periodo del pedido: intervalo de tiempo entre pedidos para un material (fracción de año)
TMC = costo total anual de materiales costo total anual de almacenar y de adquirir un material (dólares por año)
TSC = costo total anual de almacenar: costo total anual de almacenar y de pedir de un material (dólares por año)
Z = valor proveniente del apéndice A, cantidad de desviaciones estándar que OP está separado de EDDLT

Fórmulas

Sistemas de inventario de cantidades de pedido fijo

Modelo I: EOQ Básico (vea el ejemplo 10.1)

$EOQ = \sqrt{2DS/C}$ $TSC = (Q/2)C + (D/Q)S$

Modelo II: EOQ para lotes de producción (vea el ejemplo 10.2)

$EOQ = \sqrt{(2DS/C)[p/(p - d)]}$

$TSC = (Q/2)[(p - d)/p]C + (D/Q)S$

Puntos de pedido (vea los ejemplos 10.4, 10.5, 10.6, y 10.7)

$OP = EDDLT + SS$

$OP = EDDLT + j(EDDLT)$ Porcentaje de EDDLT

$OP = EDDLT + \sqrt{EDDLT}$ Raíz cuadrada de EDDLT

$OP = EDDLT + Z(\sigma_{DDLT})$ DDLT Normal

$OP = LT(\bar{d}) + Z\sqrt{LT(\sigma_d)^2}$ LT Constante y d normal

Modelo III- EOQ Con descuentos por cantidad (vea el ejemplo 10.3)

Cuando son aplicables los supuestos del modelo I

$EOQ = \sqrt{2DS/C}$ $TMC = (Q/2)C + (D/Q)S + (D)ac$

Cuando son aplicables los supuestos del modelo II

$EOQ = \sqrt{(2DS/C)[p/(p - d)]}$

$TMC = (Q/2)[(p - d)/p]C + (D/Q)S + (D)ac$

En cualquier caso, deberán seguir los procedimientos de la tabla 10.4

Sistema de periodo fijo de pedido

Modelo IV: periodo económico de pedido (vea el ejemplo 10.8)

$T = \sqrt{2S/DC}$ $TSC = (DT/2)C + S/T$

Q = Meta superior del inventario − Nivel de inventario + EDDLT

RECOPILACIÓN



LO QUE HACEN LOS PRODUCTORES DE CLASE MUNDIAL

El ciclo de inventarios es el punto central de los sistemas de inventario de demanda independiente. Los materiales se piden, se reciben y se utilizan, y a continuación se repite el ciclo. decisión clave es cuánto pedir de cada material y cuándo colocar los pedidos. Las fórmulas y las definiciones de variable de los modelos de inventario de este capítulo se dan en la tabla 10.8.

¿Bajo qué circunstancias será apropiado cada uno de

INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 10.2

LOS FABRICANTES DE COMPUTADORAS ADOPTAN ESTRATEGIAS DE PRODUCIR SOBRE PEDIDO

¿Desea saber por qué todos los principales fabricantes de computadoras personales se apresuran en parecerse a Dell Computer, la empresa de punta que inventó la venta directa de PC? Simplemente pregúntele a algún competidor. "En un mundo ideal –sostiene Jim McDonell, jefe de comercialización del grupo de PC de Hewlett-Packard — si su cliente desea adquirir una PC y ese día usted obtiene todos los componentes, ese mismo día la embarca y ese mismo día la recibe el cliente. No hay protección en el precio, no hay inventario. Michael Dell está tan cerca de esto como nadie."

La estrategia de ensamblar sobre pedido de Dell Computer Corporation ha hecho de Dell la empresa más pujante y de crecimiento más rápido. Su fórmula: elimine distribuidores y otros revendedores, y venda directamente al cliente. Esto permite a Dell construir una configuración personalizada para cada cliente y vender sus PC a precios por debajo de los de los minoristas. Compaq, Hewlett-Packard, IBM y Packard Bell NEC han estado probando sus estrategias para incluir alguna forma de producción de fabricar sobre pedido.

Todo el proceso en Dell, desde el momento de la llamada telefónica del cliente, en que se recibe el pedido, hasta el embarque de la PC terminada, en el camión de entrega, apenas toma 36 horas. Los pedidos se transfieren instantáneamente a una de las tres plantas de Dell: Austin, Texas; Penang, Malasia, o Limerick, Irlanda. Sin embargo, no hallarán ningún inventario ahí. "Todos nuestros proveedores saben que nuestros componentes deben entregarse en el plazo de una hora", asegura John Varol, gerente de planta en Austin. Los microprocesadores, tableros y unidades se conservan en autotransportes, guardados en naves a 45 metros del principio de la línea de producción. Tampoco hay inventario alguno de productos terminados. Para clientes grandes, Dell tiene un plan de embarque rápido, en el que las computadoras se entregan al cliente dentro de las siguientes 48 horas de un pedido.

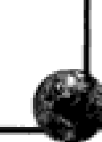
Fuente: "And Give Me an Extra-Fast Modem With That, Please." *Business Week*, 29 de septiembre 1997, 38; Serwer, Andrew E., "Michael Dell Turns the PC World Inside Out." *Fortune*, 8 de septiembre 1997, 76–86; Kirkpatrick, David, "Now Everyone in PCs Wants to Be Like Mike." *Fortune*, 8 de septiembre 1997, 91–92.

estos modelos? Muchas operaciones de menudeo, mayoreo y almacenamiento utilizan rutinariamente estos modelos. Los inventarios proporcionan los medios de cumplir con una demanda muy variable de sus productos y la necesidad de entrega instantánea. Si un fabricante utiliza el método de agotamiento de depósito para la planeación y control de la producción, según se describió en el capítulo 9, los modelos de inventarios se utilizarían en todo el sistema de producción. Sin embargo, si utiliza la planeación y control de la producción del tipo de empujar, los modelos no se utilizarían para la mayoría de los materiales en el inventario de materias primas, pero se podrían utilizar para determinar el tamaño de los lotes de producción de los inventarios de productos terminados para producir para existencias. En la planeación y control de la producción del tipo de jalar, dados tamaños de lote de producción pequeños y predeterminados, los modelos podrían emplearse para determinar los tiempos de preparación. *Pero hoy, todos los tipos de empresas estadounidenses de clase mundial están luchando para ser más esbeltas en lo que se refiere a* ***inventarios.***

Los sistemas de planeación y control de la producción que utilizan las empresas estadounidenses están cambiando a ese objetivo. El hecho básico sobre los sistemas de cantidad y punto de pedido es que se basan en la ausencia de información sobre cuánto se demandará de cada producto y a qué velocidad los proveedores pueden suministrar materiales. Las empresas de clase mundial han establecido sistemas de información que vinculan electrónicamente las compañías con sus proveedores y clientes. La disponibilidad de información en tiempo real sobre pedidos de clientes y entregas de proveedores les ha permitido pasar del agotamiento de depósito, a sistemas de empujar y a sistemas de jalar y hasta enfocarse en los cuellos de botella. Aunque algunas empresas siguen utilizando procedimientos de agotamiento de depósito, la mayoría está usando sistemas de empujar, muchas organizaciones ya han adoptado sistemas de jalar y algunas se están enfocando en procedimientos de cuellos de botella.

La combinación de una mejor información sobre la demanda futura de clientes y un sistema de producción de poco inventario ha permitido que algunas empresas cambien la producción de producir para existencias a producción sobre pedido. Con menos inventario en proceso, los pedidos se pueden producir con tanta rapidez que es innecesario un inventario de productos terminados para la rápida entrega de pedidos a los clientes. La Instantánea Industrial 10.2 ilustra la manera en que algunos fabricantes de computadoras están cambiando, para producir sobre pedido y mantenerse competitivos.

Para algunas empresas de clase mundial, la reducción de niveles de inventario en todo el sistema de producción se cita como el factor clave de su éxito. El ser esbelto en lo que se refiere a inventarios ha reducido costos de producción y otros, y han mejorado la calidad del producto y la sensibilidad a los clientes.



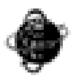
PREGUNTAS DE REPASO Y ANÁLISIS

1. Nombre dos propósitos de mantener estos inventarios: a) productos terminados b) en proceso c) materias primas
2. Defina estos términos: *pedidos pendientes, producir sobre pedido, producir para existencias, cantidad de pedido, punto de pedido, ciclo de inventarios, cambio en la máquina, tamaño de lote, periodo de pedido, sistema de doble inventario*
3 Nombre y escriba cuatro costos que se reducen al tener inventarios
4. Nombre y describa siete costos que se incrementan al poseer inventarios
5. Explique lo que quiere decir un material con demanda independiente. Dé un ejemplo y explique por qué su demanda es independiente
6. Explique lo que quiere decir un material con demanda dependiente. Dé un ejemplo y explique por qué su demanda es dependiente
7. Compare y contraste los sistemas de inventarios de cantidad fija de pedido con los sistemas de inventarios de periodo fijo de pedido
8. Defina estos términos: *costo de almacenar, costos de pedir, costos de faltantes, costos anuales de almacenar, costos anuales de pedir, costos anuales totales de posesión*
9. Enliste los costos incluidos en los costo de almacenar anuales de la figura 10.2
10. Enliste los costos incluidos en los costos anuales de pedir de la figura 10.2
11. Nombre cuatro supuestos del EOQ básico: Modelo I
12. Nombre cinco supuestos del EOQ para lotes de producción: Modelo II
13. ¿En qué unidades están estas variables: D, S, C, Q, EOQ, p y d?
14. Explique la razón por la que el nivel máximo de inventario de un material es más elevado cuando todos los pedidos se reciben simultáneamente, que cuando los pedidos se reciben gradualmente
15. ¿Cuáles son los propósitos de tener una existencia de seguridad? ¿De qué manera el uso de una existencia de seguridad afecta al EOQ? ¿De qué manera afectará al uso de la existencia de seguridad al TSC?
16. Explique lo que quiere decir lo siguiente: "la incertidumbre en la planeación de los inventarios casi siempre afecta a los gerentes de operaciones cuando éstos son más vulnerables, es decir, cuando los niveles de los inventarios están en sus puntos más bajos"
17. Dé una breve explicación de cada uno de los siguientes: a) DDLT, b) EDDLT, c) σ_{DDLT}, d) distribuciones DDLT discretas, e) distribuciones DDLT continuas, f) LT, g) σ_{LT}
18. Defina *niveles de servicio*
19. Suponiendo que la distribución DDLT es normal, escriba la fórmula para el cálculo de a) EDDLT y b) σ_{DDLT}
20. Explique la relación entre estas variables: punto de pedido, existencia de seguridad y DDLT
21. ¿Qué factores distintos a los costos anuales totales de almacenamiento afectan a la práctica a Q y a T?
22. Explique lo que están haciendo lo productores de clase mundial en relación con la administración de los inventarios

TAREAS EN INTERNET



1. Busque en Internet un productor de software para control de inventarios y describa lo que puede hacer. Incluya la dirección del sitio Web de la empresa.
2. Busque en Internet una empresa que ofrezca un descuento por cantidad (o por volumen) de sus productos. Describa los descuentos de precios y enliste el nombre y la dirección del sitio Web de la misma.



3. Paragon Applications (**www.paragonms.com**) es un paquete integrado de software para administrar flujo de materiales. Visite y explore el sitio Web de Paragon. Describa brevemente los diferentes módulos de software que forman parte de Paragon Applications.

PROBLEMAS

1. Si D = 500,000 unidades por año, C = 40% del costo de adquisición por unidad por año, S = $59.50 por pedido, y ac = $5.50 por unidad:
   a. ¿Cuál es el EOQ?
   b. ¿Cuál es el TSC en EOQ?
   c. ¿Cuánto se incrementaría TSC si la cantidad de pedido debe ser de 6,000 unidades debido a un tamaño estándar de recipiente de embarque?

2. Greenmore Lawn Products Company produce fertilizante para pasto. Una materia prima, nitrato de amonio, se adquiere en grandes cantidades para la fabricación del fertilizante. Se pronostica 2,500,000 toneladas de nitrato de amonio como necesarias para el siguiente año para apoyo a la producción. Si el nitrato de amonio cuesta $122.50 por tonelada y el costo de almacenar es 35% del costo de adquisición y el costo de pedir es $1,595 por pedido:
   a . ¿En qué cantidades deberá Greenmore adquirir el nitrato de amonio?
   b. ¿Qué costos anuales de almacenamiento se incurrirán si se pide el nitrato de amonio en el EOQ?
   c. ¿Cuántos pedidos al año debe hacer Greenmore para el nitrato de amonio?
   d. ¿Cuánto tiempo debe pasar entre uno y otro pedido?

3. El Lendmore Bank pide efectivo de su oficina central para poder cubrir las transacciones cotidianas de mostrador. Si Lendmore estima que el año entrante se necesitarán de $25,000,000, si cada pedido de efectivo cuesta $2,650 (lo que incluye costos de papelería y de entrega en automóvil blindado) y los costos del efectivo ocioso son de 8%:
   a. ¿Qué cantidades de efectivo deberá incluir Lendmore en cada pedido?
   b. ¿Qué costos totales anuales de almacenamiento resultarán si Lendmore sigue su recomendación del inciso a?
   c. ¿Cuantos días podría operar Lendmore con cada pedido de efectivo si estuviera abierto 260 días al año y el efectivo se pidiera con el EOQ?

4. Chemco Corporation vende productos químicos domésticos al menudeo. Uno de los pesticidas de mejor venta de Chemco es Pestgone. El producto se pide a un mayorista a un precio de $595.60 por cada 100 libras. Se estima que el próximo año se necesitarán 50 toneladas de Pestgone. Chemco pide Pestgone en el rango de pedido de 1 a 15,000 libras. Los costo de almacenar son de 358% del costo de adquisición de una libra por año y el costo de pedir es de $1,505 por pedido. Si Pestgone es pedido en cantidades superiores a 15,000 libras, los costos de almacenar se reducen a 25% del costo de almacenar por libra por año ya que el proveedor dará privilegios especiales de pagos postergados que reducen los cargos de interés por lo general que deben pagarse para financiar el inventario en un banco local, pero los costos de pedir se incrementan a $2,575 por pedido debido a los costos de manejo adicionales. ¿Cuántas libras de Pestgone deberá pedir Chemco en cada punto de pedido?

5. Varios gerentes del Hospital Service Company, una empresa de contratación de mantenimiento hospitalario que da servicio al equipo electrónico de los hospitales, está revisando algunas noticias bastante inquietantes en su reunión de revisión financiera mensual. El vicepresidente de finanzas declara que el costo de financiar los inventarios de suministro de la empresa se ha incrementado en un 30% y el costo de adquisición de sus componentes electrónicos se ha incrementado en 15%. Mayores tasas de mano de obra y sus beneficios sociales han hecho que los costos de pedir se hayan elevado 20% y la demanda anual de componentes electrónicos se ha reducido 20%. Charlie McDonald, vicepresidente de operaciones, está sentado tranquilamente en el extremo de la mesa de juntas esperando la pregunta inevitable. Finalmente, la hace el vicepresidente de la empresa: "Charlie, ¿cuánto, en porcentaje, cambiarán las cantidades de su pedido y cuanto cambiarán los costos totales anuales de posesión de los componentes electrónicos?". ¿Puede usted responder por Charlie?

6. La tasa de producción del ensamble final es de 800 discos compactos diarios. Una vez ensamblados, los discos compactos pasan directamente al inventario de productos terminados. La demanda de los cliente promedia 400 discos compactos diarios y aproximadamente 50,000 discos compactos anuales. Si cuesta $500 poner en marcha la línea de ensamble de los discos compactos y $1 por disco compacto por año de tenerlos en el inventario:
   a. ¿Cuántos discos compactos deberá incluirse en un lote de producción en el ensamble final?
   b. ¿Cuál es el TSC del EOQ?
7. Una refinería de petróleo adquiere petróleo crudo en un contrato de suministro a largo plazo a $22.50 el barril. Cuando se efectúan embarques de petróleo crudo hacia la refinería, llegan a un volumen de 10,000 barriles diarios. La refinería utiliza el petróleo a una tasa de 50,000 barriles por día y planea adquirir 500,000 barriles de petróleo crudo el año que viene. Si el costo de posesión es 25% del costo de adquisición anual por unidad y el costo de pedir es de $7,500 por pedido:
   a. ¿Cuál es el EOQ del petróleo crudo?
   b. ¿Cuál es el TSC en el EOQ?
   c. ¿Cuántos días de producción son respaldados por cada pedido de petróleo crudo?
   d. ¿Cuánta capacidad de almacenamiento se requiere para el petróleo crudo?
8. Una planta de generación eléctrica adquiere carbón para generar electricidad. El carbón se suministra con un volumen de 5,000 toneladas diarias a un precio de $1,500 por tonelada y se utiliza a un ritmo de 1,000 toneladas por día. Si la planta trabaja 365 días al año, su costo anual de almacenar del carbón es (C/4) multiplicado por inventario promedio y el costo anual de pedir es de (S/200)(D/Q):
   a. Deduzca una fórmula para el TSC
   b. Deduzca una fórmula para el EOQ
   c. ¿Cuál es el EOQ para el carbón si el costo de almacenar por tonelada por año es de 20% del precio del carbón por tonelada y el costo de pedir es de $3,600 por pedido?
   d. ¿Cuál es el TSC mínimo para el carbón?
9. Un mayorista de artículos para la construcción vende ventanas. Una ventana popular, número de parte de 3060 BDP, se estima tendrá una demanda de 50,000 el siguiente año. Le cuesta al almacén $50 colocar y recibir un pedido, y el costo de almacenar es de 30% del costo de adquisición. El proveedor ha cotizado estos precios en esta ventana:

Q	ac
1–999	$41.60
1,000–1,999	40.95
2,000+	40.92

   a. ¿Cuál es el EOQ del almacén?
   b. ¿Cuál es el TSC mínimo?
   c. ¿Cuánto tiempo transcurrirá entre pedidos?
10. Si D = 150,000 unidades por año, S = $500 por pedido, C = 0.35 (ac) dólares anuales por unidad, p = 600 unidades diarias, d = 300 unidades por día, ac_1 = 15 dólares por unidad por 1 a 9,999 unidades por pedido, ac_2 = 14.60 dólares por unidad de 10,000 a 19,999 unidades por pedido y ac_3 = 14.40 dólares por unidad para más de 20,000 unidades por pedido:
   a. ¿Cuál es el TMC mínimo?
   b. ¿Cuál es el EOQ?
   c. ¿Cuántos pedidos anuales deben colocarse?
   d. ¿Cuál es el nivel máximo de inventario?
11. El Computer Store vende artículos para computadora. Uno de sus productos es papel blanco para impresoras láser, número de almacén 208511W. La tienda adquiere el papel de un almacén regional que tiene autotransportes de entrega que hacen recorridos diarios a todos los clientes de la región. La tienda utiliza 40 cajas diarias de papel en una operación de cinco días a la semana. El proveedor le carga a la tienda $21 por caja y entrega 100 cajas de papel por día

durante los periodos de reabastecimiento. Le cuesta a la tienda $100 colocar un pedido del papel y los costos de posesión son de 25% del costo de adquisición. El proveedor ha ofrecido recientemente un descuento de 1% si sus clientes aceptan 200 o más cajas diarias de entrega. El proveedor entregará menos de 100 o 200 cajas en el último día de entrega de un pedido.

a. ¿Cuál es el EOQ presente para el papel?
b. ¿Cuál es el TMC presente para el papel?
c. ¿Cuál sería el EOQ si se aceptará el descuento del proveedor?
d. ¿Cuál será el nuevo TMC bajo el arreglo de descuento?
e. ¿Debería Computer Store aceptar la propuesta?

12. A continuación aparecen las demandas históricas durante el plazo de entrega por un artículo de inventario:

DDLT real	Veces	DDLT real	Veces
80–99	2	160–179	7
100–119	3	180–199	6
120–139	5	200–219	4
140–159	6		

La demanda promedio diaria es de 5.4 sellos y el promedio del plazo de demora es de 30 días.

a. Calcule el punto de pedido utilizando un nivel de servicio de 25%
b. ¿Qué existencia de seguridad está incluida en su respuesta al inciso a?

13. El departamento de mantenimiento de una planta de productos químicos necesita planear los inventarios de un elemento de mantenimiento de uso frecuente, una unidad de cojinete de rodillos 6691. Está en estudio el punto de pedido de este artículo y el nivel apropiado de existencias de seguridad. La demanda promedio por semana es de 15.4 sellos y el plazo promedio de entrega es de 5.1 semanas. Se han tomado de la computadora los siguientes datos sobre el uso de este cojinete:

DDLT real	Veces	DDLT real	Veces
60–79	7	100–109	3
80–89	9	110–119	2
90–99	5	120–129	1

a. Calcule el punto de pedido utilizando un nivel de servicio de 50%
b. ¿Qué existencia de seguridad está incluida en su respuesta al inciso a?

14. Si EDDLT = 65.5 unidades, σ_{DDLT} = 10.5 unidades, DDLT tiene una distribución normal y el nivel de servicio es de 95%:

a. ¿Cuál es el punto de pedido?
b. ¿Cuál es el nivel de existencia de seguridad?

15. Un banco desea saber cuánto debe permitir que baje el nivel de efectivo antes de pedir más efectivo de su matriz. Si la demanda durante el tiempo de entrega de efectivo sigue una distribución normal, con una media de $160,000 y una desviación estándar de $20,000, y el nivel de servicio de 85%:

a. ¿Cuál es el punto de pedido?
b. ¿Cuál es el nivel de existencia de seguridad?

16. Un componente utilizado para reparación de máquinas tiene una demanda mensual distribuida normalmente, con una media de 65.0 y una desviación estándar de 5.2. Si el plazo de entrega es tan predecible que se puede considerar como una constante de 0.25 de mes y el nivel de servicio es de 90%:

a. ¿Cuál es el punto de pedido?
b. ¿Cuál es el nivel de existencia de seguridad?

17. Si j = 15 por ciento y EDDLT = 1,000:

a. Calcule la existencia de seguridad utilizando el método de porcentaje de EDDLT

b. Calcule el punto de pedido utilizando el método de porcentaje de EDDLT
c. Calcule la existencia de seguridad utilizando el método de la raíz cuadrada de EDDLT
d. Calcule el punto de pedido utilizando el método de porcentaje de EDDLT modificado.

18. El departamento de mantenimiento en una planta de productos químicos necesita planear los inventarios de un artículo de mantenimiento de uso frecuente, una unidad de chumacera de rodillo 6691. Se considera el punto de pedido de este artículo y el nivel apropiado de existencia de seguridad. La demanda promedio por semana es de 15.4 sellos, y el plazo de entrega promedio es de 5.1 semanas. La planta opera bajo una política de tener una existencia de seguridad de 50% del EDDLT en todos los artículos de la misma clase de esta chumacera.
a. ¿Cuánta existencia de seguridad debe mantenerse para este chumacera?
b. ¿En qué nivel de inventario deberán hacerse los pedidos de la chumacera?

19. Si D = 50,000 unidades por año, S = $1,500 por orden, y C = $15 por unidad por año:
a. ¿Cuál es el EOP?
b. ¿Cuál es el TSC en el EOP?

20. Un almacén de suministros de artículos para oficina está revisando sus políticas de pedidos de sus artículos en inventario. El almacén hace inventarios periódicos de sus existencias y coloca pedidos de los materiales que necesita. Uno de los artículos es un calendario de escritorio, número de almacén 2436B. Hoy se contaron los inventarios y el nivel de inventario era de 3,395 del calendario 2436B. La meta superior del inventario de 10,000 y el EDDLT es de 1,000. La demanda anual de la región es de aproximadamente 100,000, el costo de pedir es de $200 por pedido, el costo de adquisición es de $3.95 y el costo de almacenar es de 35% del de adquisición.
a. ¿Cuándo deberá volverse a hacer un conteo físico del inventario?
b. ¿Cuántos calendarios deberán pedirse hoy?

21. Un fabricante electrónico utiliza una aleación de oro para electrodepositar. Cuando ocurre un faltante de inventario, le cuesta $60 hacer un pedido de urgencia. El oro que no se utilice en cualquier semana le cuesta $30 por onza financiarlo, asegurarlo y protegerlo. Se ha determinado el patrón semanal de la demanda para el oro al estudiar los registros recientes de producción en la planta:

Demanda semanal de oro (onzas)	Probabilidad de la demanda semanal
100	0.1
150	0.2
200	0.3
300	0.3
500	0.1

a. ¿Cuántas onzas de oro deberán almacenarse cada semana para minimizar los costos esperados de excedentes o de faltantes del material?
b. ¿Cuál es el EVPI?

22. Una tienda de partes automotrices vende baterías para automóviles. La baterías se piden semanalmente para su entrega el lunes por la mañana. El precio de ventas para una A50 es de $85 y su costo para Big Store es de $55. Si se piden demasiadas baterías y el inventario debe conservarse el fin de semana, las oficinas centrales corporativas cargan a la tienda $10 por batería para seguros adicionales, finanzas y costos de ocupación de almacén. Si la tienda no tiene existencias, pierde la oportunidad de las utilidades por ventas perdidas. ¿Cuántas baterías A50 deberán pedir toda la semana al Big Store si el patrón semanal de ventas es como se muestra a continuación?

Cantidad de baterías demandadas	Probabilidad
20	0.1
30	0.2
40	0.4
45	0.3

a. Trabaje este problema primero minimizando los costos semanal totales esperados de excedentes y de faltantes (costo de almacenar y de oportunidad)
b. A continuación, trabaje el problema maximizando las utilidades totales esperadas y calcule el EVPI
c. Muestre la equivalencia de sus soluciones a los incisos a y b

23. Un banco conserva efectivo a la mano para encarar necesidades cotidianas. Si tiene demasiado efectivo, el banco pierde la oportunidad de algunos ingresos por interés que pudiera haber ganado en inversiones alternativas; esto es, el efectivo ocioso tiene un costo de oportunidad, es decir, un costo de excedentes. Si el banco conserva demasiado poco efectivo, tiene que recurrir a otras instituciones de préstamo para el efectivo lo que da como resultado costos de operación adicionales (costos por faltantes). Las estimaciones de la demanda para el siguiente periodo son:

Demanda o SN (miles)	Frecuencia	P(SN)
$100	1/10	0.1
200	1/10	0.1
250	2/10	0.2
300	3/10	0.3
400	3/10	0.3

Las estimaciones de la empresa para los costos de excedentes y de faltantes son:

$$SC = \$1{,}000 + 0.8X \qquad LC = \$500 + 1.0Y$$

donde:

SC = costos del periodo por faltantes totales

LC = costos del periodo de excedentes totales

X = número total de unidades (miles de dólares) de faltantes durante el periodo

Y = número total de unidades (miles de dólares) de excedentes durante el periodo

¿Cuánto efectivo deberá mantener el banco a la mano durante el siguiente periodo para minimizar los costos totales anuales faltantes y excedentes?

CASOS

SOUTHWEST WHOLESALE COMPANY

Southwest Wholesale Company vende bienes de consumo a detallistas estadounidenses. El desempeño financiero de la empresa se ha deteriorado, hasta el punto que debe reducirse el costo de operación de sus almacenes. Marge Bennett, director de operaciones de almacenes, ya está analizando formas de reducir los costos.

El personal de Marge está considerando proponer que se instale una minicomputadora para que les ayude a convertir el actual sistema de inventarios de periodo de pedido fijo, que depende de conteos físicos periódicos del inventario, a un sistema de cantidad fija de pedido, que supone un sistema de registros perpetuos del inventario. El personal ha desarrollado estas estimaciones para un solo artículo del inventario, que se supone es representativo de los muchos que existen en los almacenes.

- Costo de adquisición: $19.55 por unidad
- Costo de pedir: $121.50 por pedido
- Costo de almacenar: 35% de los costos de adquisición (dólares anuales por unidad)
- Ventas anuales estimadas: 157,500 unidades por año
- Costo anual de los conteos físicos del inventario para este artículo: $2,500 por año
- Costo anual del sistema de inventario perpetuo con minicomputadora (porción del costo total de sistema que se asigna a este artículo con base en el costo de los bienes vendidos): $550 por año

Tarea

1. Calcule el costo anual estimado del sistema actual de inventario para este artículo
2. Calcule el costo anual estimado del sistema propuesto de inventario perpetuo para este artículo
3. ¿Qué ahorros anuales para este artículo en particular es probable que resulten al instalar el nuevo sistema de inventarios?
4. ¿Qué dificultades nos impiden extrapolar los ahorros de este artículo a todo el inventario en los almacenes? ¿Cómo puede la información desarrollada en el inciso 3 utilizarse con efectividad para después decidir si se adopta o no el nuevo sistema de inventarios?
5. ¿Qué dificultades es probable se encuentren en la implementación del nuevo sistema de inventarios?

PLANEACIÓN DE INVENTARIOS EN INTEGRATED PRODUCTS CORPORATION



POM

Integrated Products Corporation (IPC) está desarrollando políticas de pedirlos para sus materiales que se almacenan para su reventa a clientes. Los materiales se han clasificado en tres clases:

Clase de material	Descripción de la clase de material
A *(Ejemplo: TS500)*	Materiales de costo elevado, volumen elevado o de alguna otra forma de importancia crítica para los clientes. Aunque estos materiales representen sólo 20% del número total de materiales, tienen un valor de aproximadamente 80% del total.
B	Materiales de costo moderado, volumen moderado o de alguna otra forma de una importancia moderada para los clientes. Estos materiales representan aproximadamente 30% del número de materiales y aproximadamente 15% del valor.
C *(Ejemplo: S80)*	Materiales de bajo costo, volumen o de alguna otra forma de baja importancia para los clientes. Normalmente se pueden obtener de manera expedita o pueden remplazarse con otros materiales. Representan aproximadamente 50% del número de los materiales y sólo 5% de su valor.

Tarea

1. El TS500 cuesta $24.95; IPC está pronosticando que se necesitarán actualmente 10,000 partes; IPC estima un costo de almacenar de 40% de este inventario por año; le cuesta aproximadamente $100 procesar, recibir e inspeccionar un pedido de estas piezas; IPC utiliza un sistema de inventarios de cantidad fija de pedido para los materiales de clase A. ¿Cuántas de estas piezas deberán pedirse cuando se reabastezca el material?
2. El proveedor del TS500 ha ofrecido embarcar el componente a una tasa de 100 diarios durante los periodos de embarque vía el autotransporte del proveedor y la planta de IPC funciona 300 días por año. Si todos los demás datos del inciso 1 se mantienen constantes: a. Cuantas piezas deberán pedirse cuando se reabastezca el TS500? b. ¿Qué ahorros anuales obtendrá IPC si se pone en funcionamiento la nueva política de embarque?
3. El proveedor del TS500 está de acuerdo de dar a IPC un descuento por cantidad. El costo para IPC será:

Componentes ordenados por pedido	Costo por componente
1–999	$24.95
1,000–4,999	24.85
5,000+	24.80

Si todos los demás datos del inciso 1 se mantienen constantes: a. ¿Cuántos componentes deberán pedirse al reabastecer el TS0500? b. ¿Qué ahorros anuales obtendría IPC debido a los descuentos por cantidad?

4. El proveedor del TS500 ha ofrecido combinar su oferta de un suministro gradual durante los periodos de embarque del inciso 2 con el descuento por cantidad de la oferta del inciso 3. ¿Cuántos componentes deberán pedirse cuando se reabastezca el material, si todos los demás datos son los mismos que los de los incisos 2 y3?
5. El S80 cuesta $3.40 por libra; IPC está pronosticando que se necesitarán 8,000 libras anualmente; le cuesta aproximadamente 25 dólares procesar, recibir, e inspeccionar un pedido del material; IPC utiliza un sistema de inventarios de periodo fijo de pedido para los materiales de clase C. a. ¿Qué tan frecuentemente deberá pedirse el material? b. Si la meta superior de inventarios para S80 debe ser 1,000 libras, el nivel actual del inventario 540 libras y el EDDLT es de 300 libras, ¿Cuántas libras del S80 deberán pedirse?
6. La demanda esperada durante el periodo de entrega (EDDLT) del TS500 es de 6,000 componentes:
   a. Calcule el punto de pedido para el TS500 utilizando un método de 20% del EDDLT para calcular la existencia de seguridad
   b. Calcule el punto de pedido para el TS500 utilizando el método de la raíz cuadrada de EDDLT para el cálculo de la existencia de seguridad.

Niveles de existencia de seguridad en Bell Computers

Bell Computers produce y almacena impresoras para computadora en su bodega de productos terminados. Estos datos históricos de DDLT se supone representan la demanda futura para un modelo de impresora.

DDLT real	Frecuencia	DDLT real	Frecuencia
0–29	0	70–79	0.25
30–39	0.10	80–89	0.10
40–49	0.10	90–99	0.05
50–59	0.15	100–109	0.05
60–69	0.20	110–120	0

Tarea

1. Si deberían darse por lo menos un nivel de servicio de 90% para estas impresoras: a. ¿Cuál es el punto de pedido? b. ¿cuál es la existencia de seguridad?
2. Si realmente el DDLT de la impresora está normalmente distribuido con una media de 65 y una desviación estándar de 10 y se debe proporcionar para estas impresoras un nivel de servicio de 90%: a. ¿Cuál es el punto de pedido? b. ¿Cuál es la existencia de seguridad?
3. Si el plazo de entrega de estas impresoras es tan estable que puede suponerse como constante e igual a 6.5 días, la demanda diaria está normalmente distribuida, con una media de 10 y una desviación estándar de 2, y por lo menos debe proporcionarse un nivel de servicio de 90% de estas impresoras: a. ¿Cuál es el punto de pedido? b. Cuál es la existencia de seguridad?

Bibliografía seleccionada

Blatherwick, Andrew. "Inventory Management—The State of the Art." *Logistics Focus* 5, no. 8 (octubre de 1997): 2–5.

Cox, James F., III, John H. Blackstone, and Michael S. Spencer, eds. *APICS Dictionary*, 8a. edición Falls Church, VA: APICS—The Educational Society for Resource Management, 1995.

Fogarty, Donald W., John H. Blackstone, Jr., y Thomas R. Hoffmann. *Production and Inventory Management*, 2a. edición Dallas: South-Western Publishing, 1991.

Gossard, Gary. "A New Focus on Inventory Performance and Bottom-Line Profits." *Hospital Materiel Management Quarterly* 18, no. 2 (noviembre de 1996): 69–76.

Greene, James H., editor. *Production and Inventory Control Handbook*. Falls Church, VA: American Production and Inventory Control Society, 1997.

Hoyt, J. "Order Points Tailored to Suit Your Business." *Production and Inventory Management* 14 (cuarto trimestre de 1973): 42.

Krupp, James A. G. "Managing Demand Variations with Safety Stock." *Journal of Business Forecasting* 16, no. 2 (verano de 1997): 8–13.

Mayer, R. R. "Selection of Rules-of-Thumb in Inventory Control." *Journal of Purchasing* 8 (mayo de 1972): 19–24.

Plossl, George W. *Production and Inventory Control: Princi-*

ples and Techniques. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1985.

Plossl, George W., y W. Evert Welch. *The Role of Top Management in the Control of Inventory*. Reston, VA: Reston Publishing, 1979.

Pursche, S. "Putting Service Level into Proper Perspective." *Production and Inventory Management* 16 (tercer trimestre de 1975): 69–75.

Safizadeh, M. Hossein y, Larry P. Ritzman. "Linking Performance Drivers in Production Planning and Inventory Control to Process Choice." *Journal of Operations Management* 15, no. 4 (noviembre de 1997): 389–403.

Silver, Edward, David F. Pyke, y Rein Peterson. *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*, 3a. edición. New York: John Wiley & Sons, 1998.

Sox, Charles R., L. Joseph Thomas, y John O. McClain. "Coordinating Production and Inventory to Improve Service." *Management Science* 43, no. 9 (septiembre de 1997): 1189–1197.

Spedding, Paul. "Time-Phased Order Points." *Hospital Materiel Management Quarterly* 19, no. 2 (noviembre de 1997): 59–63.

Tersine, Richard J. *Principles of Inventory and Materials Management*, 2a. edición. New York: North-Holland, 1987.

Viale, J. David. *Inventory Management: From Warehouse to Distribution Center*. Menlo Park, CA: Crisp Publications, 1996.

Vujosevic, Mirko, Dobrila Petrovic, y Radivoj Petrovic. "EOQ Formula When Inventory Cost is Fuzzy." *International Journal of Production Economics* 45, no. 1–3 (1 de agosto 1996): 499–504.

Wild, Tony. *Best Practices in Inventory Control*. New York: John Wiley & Sons, 1998.

Capítulo 11

Sistemas de planeación de los requerimientos de recursos: *Planeación de los requerimientos de los materiales (MRP, por sus siglas en inglés) y planeación de los requerimientos de ca acidad (CRP, por sus siglas en inglés)*



Introducción

Planeación de requerimientos de materiales

Objetivos de MRP

Elementos de MRP

Programa maestro de producción • Archivo de lista de materiales • Archivo del estado de inventarios • Programa de cómputo MRP • Resultados de MRP

Green Thumb Water Sprinkler Company

Dimensionamiento de lotes en MRP

Tópicos en MRP

Dimensionamiento de lotes • Sistemas MRP de cambio neto en comparación con MRP regenerativo • Existencias de seguridad • MRP en empresas que ensamblan sobre pedido

De MRP I a MRP II y a ERP

De qué manera MRP se adapta al cambio

Evaluación del MRP

Planeación de requerimientos de capacidad (CRP)

Programas de carga

Recopilación: lo que hacen los productores de clase mundial

Preguntas de repaso y análisis

Tareas en Internet

Problemas

Casos

Integrated Products Corporation

Electronic Assembly Corporation

Blanco Foods

Notas finales

Bibliografía seleccionada

REDUCCIÓN DE INVENTARIOS EN SC CORPORATION MEDIANTE MRP

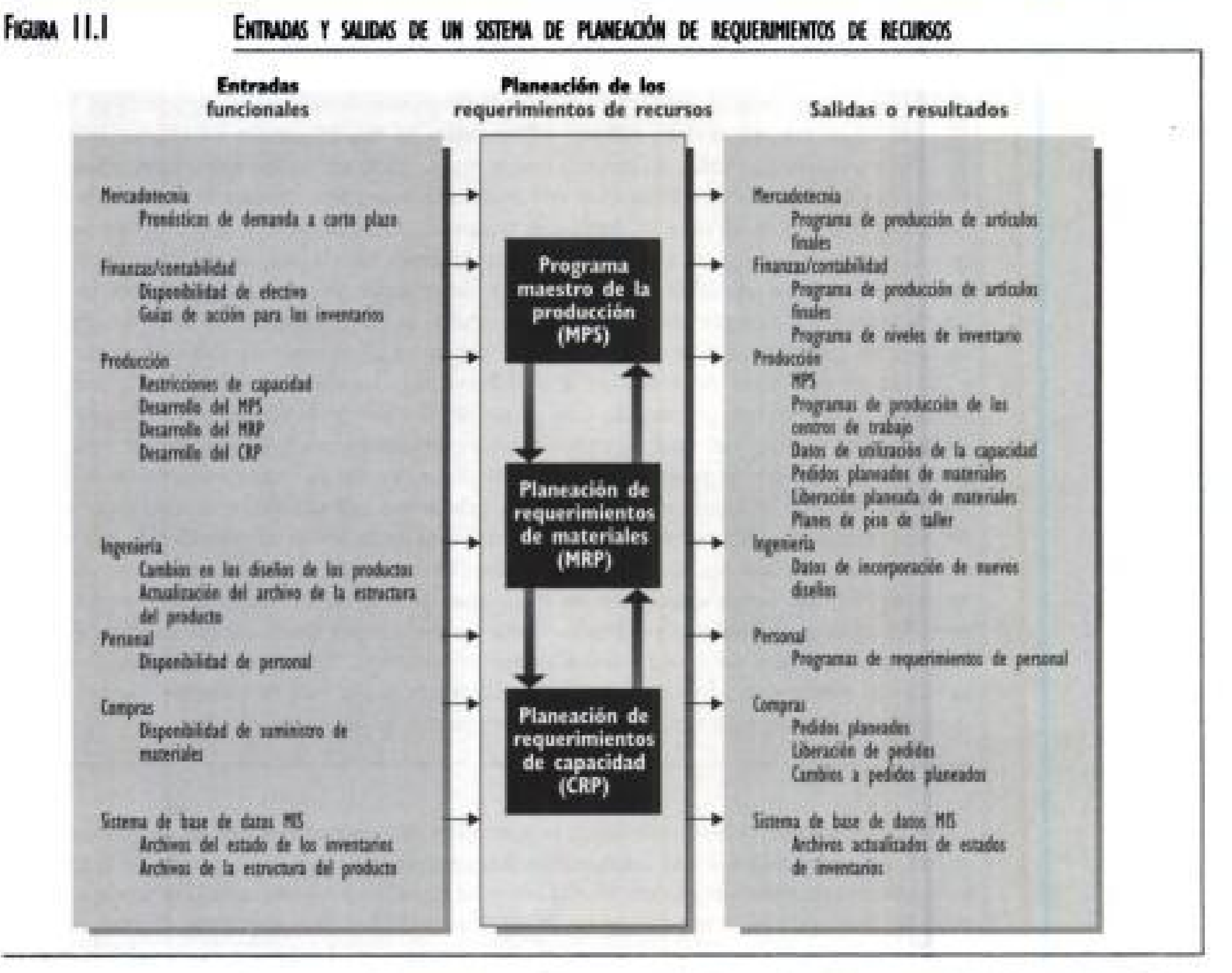
En SC Corporation, el productor más grande del mundo de enfriadores evaporativos, las ventas habían crecido de cinco millones a 20 millones de dólares durante los 15 años anteriores. Este crecimiento había sido resultado de la mayor eficiencia de los enfriadores evaporativos sobre los sistemas de refrigeración convencional al ir incrementándose el costo de la electricidad. Durante más de 30 años, SC había sido propiedad del señor Gentry, pero recientemente éste había vendido la empresa a un gran fabricante diversificado de maquinaria eléctrica. El nuevo propietario envió un equipo de jóvenes y entusiastas gerentes de operaciones para que se ocuparan de la fábrica, y su impresión inicial no fue favorable. La planta tenía exceso de inventario: parecía fuera de contexto un inventario de materias primas de 20 millones de dólares para dar apoyo a 20 millones de dólares de ventas por año. El inventario ocupaba tanto espacio en la fábrica que restringía la capacidad de producción. Con ventas de 30 millones de dólares pronosticadas para el siguiente año, resultaba claro que algo tenía que hacerse para aumentar la capacidad de producción. El equipo de gerentes de operaciones inició una planeación de los requerimientos de materiales (MRP) para reducir los niveles de los inventarios; también se esperaba que, al recuperar consecuentemente espacio en la fábrica, se podría instalar otra línea de ensamble sin necesidad de incrementar el tamaño físico de la planta. Después de dos años se han obtenido resultados espectaculares en el proyecto MRP. Las ventas anuales son de 40 millones de dólares, el inventario total de materiales es de 9.8 millones de dólares, las utilidades se han multiplicado por cinco, y la fábrica ahora tiene suficiente capacidad para dar apoyo a ventas de aproximadamente 50 millones de dólares. Todo esto se hizo con menos inversión. La maquinaria necesaria para nueva línea de ensamble requirió menos inversión que la reducción atribuida al MRP en los niveles de los inventarios.

Como indica la anterior historia de éxito, la planeación de los requerimientos de materiales (MRP) se está utilizando, cada vez más, conforme los fabricantes buscan reducir los niveles de inventarios, incrementar la capacidad de producción e incrementar las utilidades. Este capítulo se refiere a los sistemas de planeación de los requerimientos de recursos, y MRP es parte importante de estos sistemas.

En el capítulo 9 estudiamos los planes de capacidad agregada, los programas maestros de producción y los sistemas de planeación y control de la producción del tipo de empujar. En esos sistemas, el énfasis está en utilizar información sobre clientes, proveedores y producción para administrar los flujos de materiales. Los lotes de materias primas se planean para que lleguen a la fábrica aproximadamente cuando se necesitan para fabricar lotes de componentes y subensambles. Los componentes y subensambles se fabrican y entregan a ensamble final aproximadamente cuando se necesitan y los productos terminados se ensamblan y embarcan aproximadamente cuando son necesarios para los clientes. Los lotes de materiales se empujan en el parteaguas arriba de las fábricas, uno a continuación de otro, lo que a su vez empuja otros lotes por todas las etapas de la producción. Este flujo de materiales se planea y controla mediante una serie de programas de producción, que determinan cuándo deben salir de cada etapa de producción los lotes de cada producto en particular.

La planeación de los requerimientos de recursos tiene un lenguaje que, debido a su creciente uso en la industria, ha evolucionado. Los términos y definiciones que forman parte de este lenguaje aparecen en el glosario al final de este libro. La figura 11.1 ilustra cómo las áreas funcionales de un negocio funcionan en conjunto para planear y controlar los requerimientos de recursos en una empresa. Todas estas funciones emiten información que hace que el sistema de planeación de recursos funcione y, entonces, éste envía información a cada una de las funciones, de manera que pueda desempeñar mejor su propio trabajo. La figura 11.2 ilustra los elementos principales de los sistemas de planeación de los requerimientos de recursos. La demanda estimada de artículos finales, las políticas de dimensionamiento de lotes y de existencias de seguridad de los artículos finales, y la planeación aproximada de la capacidad se integran en un programa maestro de la producción tentativo (MPS). Este MPS preliminar se prueba mediante la planeación de los requerimientos de materiales y planeación de los requerimientos de capacidad (CRP). En otras palabras, ¿es posible comprar su-

FIGURA 11.1 ENTRADAS Y SALIDAS DE UN SISTEMA DE PLANEACIÓN DE REQUERIMIENTOS DE RECURSOS



ficientes materiales y existe suficiente capacidad de producción para producir los artículos finales del MPS? Si los materiales adquiridos o la capacidad de producción no están económicamente disponibles, el MPS deberá modificarse. Una vez que MRP y CRP determinen que un MPS es factible, éste se convierte en la esencia de un plan de producción a corto plazo.

En el resto de este capítulo estudiaremos los dos elementos principales de los sistemas de planeación de los requerimientos de recursos: la planeación de los requerimientos de materiales y la planeación de los requerimientos de capacidad.

PLANEACIÓN DE REQUERIMIENTOS DE MATERIALES

La planeación de requerimientos de materiales (MRP) parte del principio de que muchos de los materiales que se tienen en inventario tienen demanda dependiente, un principio que se presentó en el capítulo 10. Los inventarios de materiales de materias primas y de productos parcialmente terminados, que se almacenan para el inventario en proceso, son materiales con demanda dependiente. La cantidad de un material en particular con demanda dependiente necesaria en cualquier semana dependerá del volumen de productos por fabricar que requieran de dicho material. La demanda de materias primas y productos parcialmente terminados no tiene, por lo tanto, que pronosticarse, porque si durante una semana se sabe cuántos productos terminados deben producirse, puede calcularse la cantidad de cada uno de los materiales necesarios para fabricar dichos productos terminados.

MRP es un sistema basado en computadora que toma el MPS como algo dado; explota al MPS en la cantidad de materias primas, componentes, subensambles y ensambles requeridos cada semana del horizonte de planeación; corrige esta necesidad de materiales al considerar materiales

FIGURA 11.2 SISTEMA DE PLANEACIÓN DE REQUERIMIENTOS DE RECURSOS

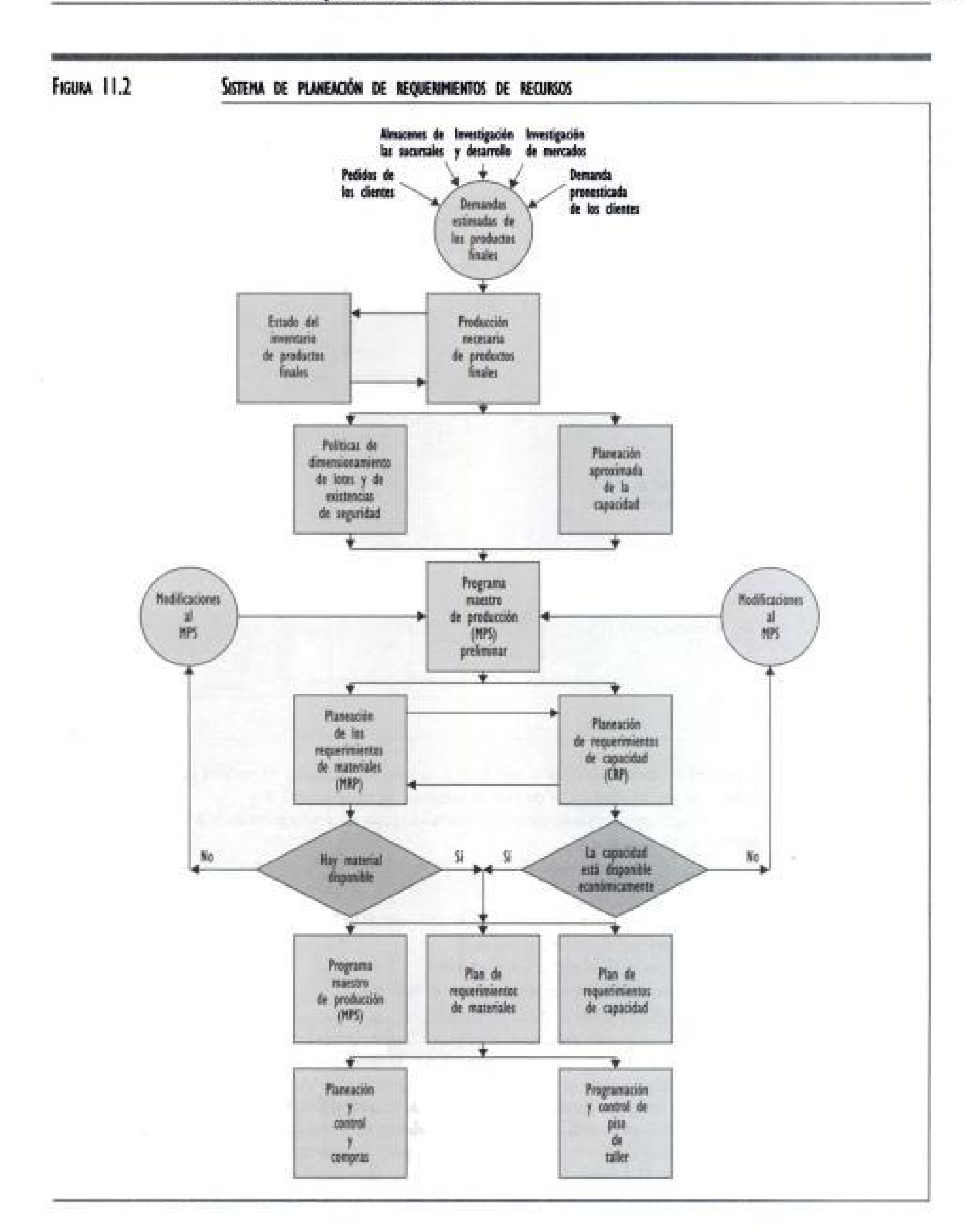
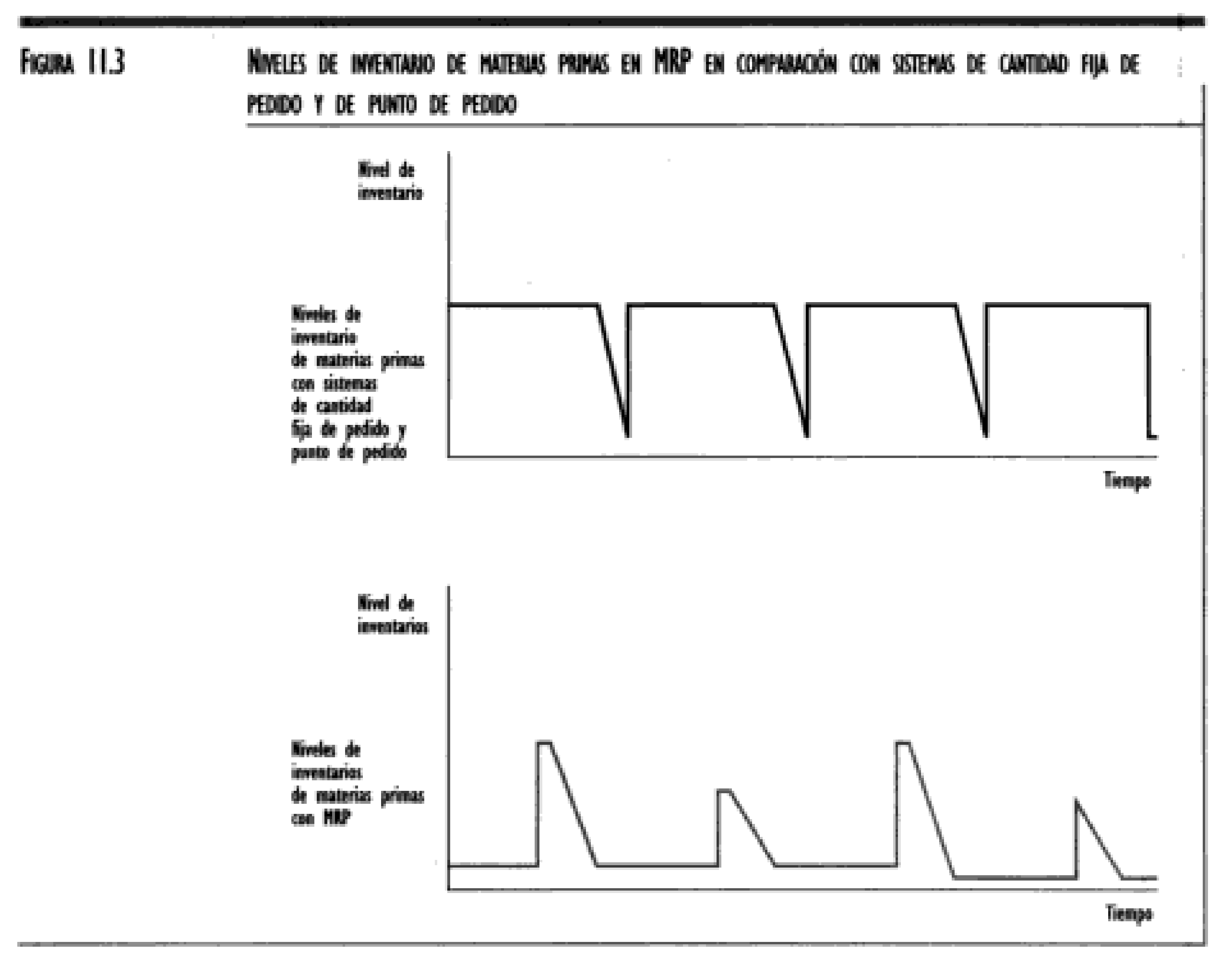


FIGURA 11.3 NIVELES DE INVENTARIO DE MATERIAS PRIMAS EN MRP EN COMPARACIÓN CON SISTEMAS DE CANTIDAD FIJA DE PEDIDO Y DE PUNTO DE PEDIDO



existentes en inventario o sobre pedido y desarrolla un programa de pedidos de compra de materiales y de piezas producidas durante el horizonte de planeación.

¿Por qué tantas organizaciones de producción han adoptado sistemas MRP? Los objetivos de MRP ayudan a explicarlo.

OBJETIVOS DE MRP

Los gerentes de operaciones adoptan MRP por estas razones:

- Para mejorar el servicio al cliente.
- Para reducir la inversión en inventarios.
- Para mejorar la eficiencia de operación de la planta.

La mejoría del servicio al cliente significa algo más que simplemente tener a la mano productos cuando se reciban los pedidos de los clientes. Tener clientes satisfechos también significa cumplir con las promesas de entrega y reducir los plazos de entrega. No sólo MRP proporciona la información administrativa necesaria para hacer que las promesas de entrega puedan cumplirse, sino también que las promesas queden fijas en el sistema de control MRP que guía a la producción. Por lo tanto, las fechas prometidas de entrega se convierten en metas que deben ser cumplidas por la organización, mejorando así la probabilidad de cumplir con las fechas de entrega prometidas.

La figura 11.3 ilustra la razón por la que MRP tiene tendencia a reducir niveles de inventario. Cuando se utilizan sistemas de cantidad fija de pedido y de punto de pedido para planear los pedidos de las materias primas, la cantidad de pedido más la existencia de seguridad se conserva en el inventario hasta que el artículo final se presenta en el programa maestro de producción (MPS). Puesto que estas representaciones pueden estar separadas en el tiempo varias semanas, el patrón de los niveles de

inventarios consiste en largos periodos de mucho inventario entremezclados con breves periodos de niveles bajos. En MRP, por otra parte, los pedidos de materias primas se sincronizan para que lleguen aproximadamente en el momento en que el elemento final de la materia prima se presenta en el MPS. El patrón de niveles de inventario en MRP consiste en largos periodos de niveles bajos de inventario entremezclados con breves periodos de altos inventarios. El impacto que tiene MRP en los niveles de inventarios de materias primas es, por lo tanto, reducir dramáticamente los inventarios promedio.

Dado que MRP controla mejor la cantidad y sincronización de las entregas de materias primas, componentes, subensambles y ensambles para las operaciones de producción, los materiales correctos se entregan a la producción en el momento correcto. Además, se pueden reducir o acelerar los flujos de insumos en respuesta a los cambios en los programas de producción. Estos controles del MRP dan como resultado menor mano de obra, material y costo de gastos indirectos variables por las siguientes razones:

- Menos faltantes de inventario y retrasos en la entrega de materiales dan como resultado más producción, sin incrementar la cantidad de empleados o de máquinas.
- Reducción en la incidencia de derechos de subensambles, ensambles y productos como resultado del uso de partes correctas.
- La capacidad en los departamentos de producción aumenta como resultado de menos tiempo de producción ocioso, mayor eficiencia en los movimientos físicos de materiales y menor confusión y retardos en la planeación.

Todos estos beneficios emanan principalmente de la **filosofía de los sistemas MRP**. De manera simplificada, los sistemas MRP se basan en la filosofía de que cada materia prima, componente y ensamble requeridos en la producción, deberá llegar simultáneamente, en el momento correcto, para producir los elementos finales incluidos en el MPS. Esta filosofía consiste en acelerar a los materiales que van a llegar tarde y retrasar la entrega de materiales que van a llegar demasiado pronto. Por ejemplo, si un material va a llegar tarde y nada se puede hacer al respecto, los demás materiales necesarios para ensamblar este producto terminado no se requerirán hasta que ese material retrasado llegue. El sistema MRP cambia las fechas de vencimiento de todos los materiales, de manera que los materiales lleguen simultáneamente para ensamblar el producto final. Una ventaja importante de los sistemas MRP es que las operaciones de producción se realizan sólo en los componentes que son realmente necesarios en sus fechas de vencimiento, de manera que la capacidad de producción se está utilizando para apoyar directamente al MPS. Con esto, se evita acelerar la producción de componentes en toda la fábrica para que, al final, lleguen al ensamble final y allí se topen con que los productos terminados correspondientes a esas piezas no se ensamblarán esa semana.

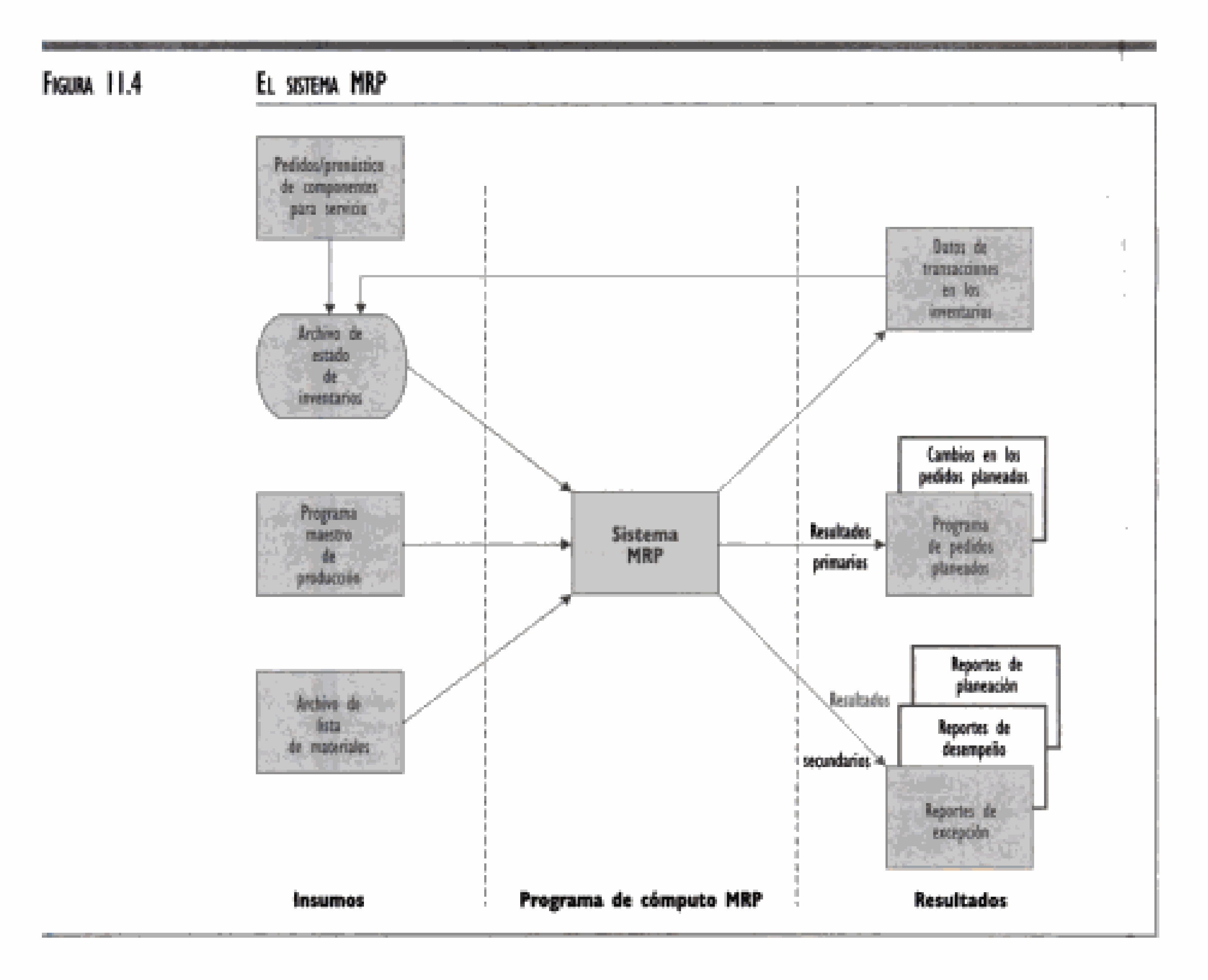
MRP se ha convertido en una valiosa herramienta de planeación para miles de instalaciones fabriles de todo el mundo. Después de implementar MRP, se obtienen beneficios de tipo general, como una mayor rotación del inventario, mejor cumplimiento de los compromisos de entrega, menos pedidos que se deben fraccionar debido a faltantes de material, menos aceleramiento de los materiales requeridos y plazos de entrega más cortos desde el pedido del cliente hasta la entrega del producto terminado. Examinemos ahora las características del sistema MRP.

Elementos de MRP

La figura 11.4 describe la operación del sistema MRP. El programa maestro de producción guía a la totalidad del sistema MRP. Se toma como algo dado. El archivo del estado de inventarios y el archivo de la lista de materiales suministran información adicional sobre los productos incluidos en el programa maestro de producción. Estos insumos se alimentan en el programa de cómputo del MRP, que es el que genera los resultados. Las transacciones en los inventarios resultado de las acciones de MRP se vuelven a incorporar en el archivo de estado de inventarios para mantener actualizados los registros de los inventarios. El programa de pedidos planeados y los cambios a los pedidos planeados son los resultados principales del MRP. Para uso de la administración, también se generan reportes de excepciones, de desempeño y de planeación.

Programa maestro de producción Se diseña un programa maestro de producción (MPS) ya sea para reabastecer los inventarios de productos terminados o para cubrir los pedidos de los clientes. Un MPS empieza como un programa tentativo, en función de su factibilidad, a través de MRP y

FIGURA 11.4 EL SISTEMA MRP



CRP. Conforme se comprueba que estos programas son factibles, se convierten en el MPS que se pone en acción. MRP no puede distinguir entre programas maestros de producción factibles y no factibles; esto quiere decir que MRP supone que el MPS puede producirse dentro de las restricciones de capacidad de producción. MRP explota el programa maestro en las necesidades de materiales. Si estos requerimientos no pueden cumplirse con los materiales disponibles en el inventario, con los materiales en pedido o si no hay tiempo suficiente para nuevos pedidos, entonces será necesario modificar el MPS para obtener un nuevo MPS.

El MPS mueve al MRP y de la misma forma que se actualiza el MPS, también se modifican los resultados del MRP. Los pedidos de materiales se aceleran, retardan o cancelan. Cuando el MPS queda fijo, también queda fijo el plan de recepción de aquellos materiales que emanan del MRP.

Archivo de lista de materiales **Una lista de materiales** es una lista de los materiales y sus cantidades requeridas para producir una unidad de un producto, es decir, un **artículo final**. Cada producto, por lo tanto, tiene una lista de materiales. Un archivo de **lista de materiales** o un **archivo de estructura del producto**, como a veces se conoce, es una lista completa de todos los productos terminados, la cantidad de cada material en cada producto, así como la estructura (ensambles, subensambles, componentes y materias primas y relaciones entre todos éstos) de los productos. Otro término para una lista de materiales es una **lista de materiales por niveles**, una lista en la cual el padre está en el margen y sus componentes tienen sangrías para mostrar la estructura. (Vea la tabla 11.3 en una sección posterior.)

El archivo de la lista de materiales es un archivo actualizado computarizado que puede ser revisado conforme se rediseñan los productos. Un obstáculo de importancia que debe superarse en

la mayoría de las aplicaciones MRP es la precisión de la lista de materiales. Con la confianza de que el archivo está actualizado, una vez preparado el MPS sus elementos se pueden *explotar* en los ensambles, subensambles, componentes y materias primas requeridos. Estos artículos deben adquirirse de proveedores exteriores o producirse en los departamentos de producción de la empresa.

Archivo del estado de inventarios Es un archivo computarizado con un registro completo de cada material que se tiene en inventario. Cada material, independientemente de en cuántos niveles se utilice en un producto o en muchos productos, tiene uno y sólo un **registro de materiales.** Un registro de materiales incluye el **código de nivel bajo**, el inventario a la mano, los materiales en pedido y los pedidos de los clientes para este artículo. Estos registros se actualizan mediante transacciones de inventarios como recepciones, desembolsos, materiales desechados, pedidos planeados y otras liberaciones de pedidos.

Otra parte del archivo incluye factores de planeación que utilizará el sistema MRP. Estos factores incluyen información sobre el tamaño de los lotes, los plazos de entrega, los niveles de existencia de seguridad y las tasas de desperdicio.

Algunos componentes, ensambles y subensambles se registran como productos terminados que se suministran a los clientes, como refacciones. Estos materiales quizá no formen parte del MPS, ya que se adquieren directamente de proveedores y van directamente al inventario para atender la demanda de los clientes; en otras palabras, no se producen y, por lo tanto, no se incluyen en el MPS. En consecuencia, los pedidos reales o pronosticados de estos materiales se incluyen directamente en el archivo del estado de inventarios, que automáticamente forma parte del sistema MRP.

El archivo del estado de inventarios no solamente proporciona al sistema MRP un registro completo del estado de cada uno de los materiales del inventario; también, se utilizan los factores de planeación en el programa de cómputo de MRP para la proyección de las fechas de entrega del pedido, las cantidades de cada material a pedir y cuándo colocar los pedidos.

Programa de cómputo MRP El programa de cómputo MRP opera de esta forma:

1. Primero, con ayuda del MPS, empieza por determinar la cantidad de productos finales necesarios para cada periodo. A veces, en terminología MRP, los periodos se conocen como **cajones.**
2. Después, se incluyen como productos terminados los números de las partes para servicio que no se incluyen en el MPS, pero que se deducen de los pedidos de los clientes.
3. A continuación, consultando el archivo de la lista de materiales, el MPS y las piezas de servicio se explotan en los requerimientos brutos de todos los materiales para cada periodo futuro.
4. Acto seguido, consultando el archivo del estado de inventarios se modifican, para cada uno de los periodos, los requerimientos brutos de materiales, tomando en consideración la cantidad de materiales a mano y en pedido. Los requerimientos netos de cada material para cada cajón se calculan como sigue:

$$\text{Requerimentos netos} = \text{Requerimentos brutos} - \left[\text{Inventario a la mano} - \text{Existencia de seguridad} - \text{Inventario asignado a otros usos}\right]$$

   Si los requerimientos netos son superiores a cero, deberán colocarse pedidos para este material.
5. Finalmente, los pedidos se corren a periodos anteriores para tomar en cuenta los plazos de entrega en cada una de las etapas del proceso productivo y los plazos de entrega de los proveedores.

Este procedimiento da como resultado datos de transacciones de inventarios (liberación de pedidos, cambios de pedidos, etc.), que se emplean para actualizar el archivo del estado de inventarios, los reportes primarios de resultados y los reportes secundarios.

Resultados de MRP Los resultados de los sistemas MRP proporcionan de manera dinámica el programa de materiales para el futuro: la cantidad de cada material requerida en cada periodo para apoyo del MPS. Se obtienen dos resultados primarios:

1. **Programa de pedidos planeados:** un plan de la cantidad de cada material que debe pedirse en cada periodo. Compras emplea este programa para hacer pedidos a los provee-

dores o lo utiliza producción para ordenar componentes, ensambles y subensambles a sus departamentos de producción corriente arriba. Los pedidos planeados se convierten en la guía de la producción futura de los programas de los proveedores y de los programas internos de producción de la empresa.

2. **Cambios en los pedidos planeados**: modificación a pedidos planeados anteriores. Las cantidades pedidas pueden modificarse, los pedidos pueden cancelarse, o los pedidos pueden retrasarse o adelantarse a otros periodos gracias al proceso de actualización.

Los resultados secundarios de MRP dan esta información:

1. **Reportes de excepción**: informes que advierten sobre artículos que requieren la atención de la gerencia para tener la cantidad correcta de materiales durante cada periodo. Las excepciones típicas notadas son errores de informe, pedidos tardíos y excesivo desperdicio.
2. **Reportes de desempeño**: informes que indican lo bien que está operando el sistema. Ejemplos de mediciones de desempeño son la rotación de los inventarios, el porcentaje de promesas de entrega cumplidas y las incidencias de faltantes de almacén.
3. **Reportes de planeación**: informes que se utilizarán en futuras actividades de planeación de inventarios. Ejemplo de esta información de planeación son pronósticos de los inventarios, informes de compromisos de compras, rastreo a las fuentes de demanda (asignación) y planeación de requerimientos de materiales a largo plazo.

Estos son los elementos principales del MRP: entradas, programa de cómputo de MRP y resultados. Veamos ahora, a través de un ejemplo, cómo el uso del MRP puede afectar la planeación de los inventarios.

Green Thumb Water Sprinkler Company

La Instantánea industrial 11.1 ilustra la manera de aplicar el MRP a un producto: un aspersor de agua. La figura 11.5 muestra el producto. Lea el relato y estudie la figura 11.7, es decir, el programa MRP. Asegúrese que comprende la forma en que se toma cada porción de la información del MPS (tabla 11.1), de la lista de materiales (tabla 11.2) y del informe del estado de inventarios (tabla 11.4) para utilizarse en los cálculos del programa MRP.

Instantánea industrial 11.1

Green Thumb Water Sprinkler Company

James Verde, presidente de Green Thumb Water Sprinkler Company, acaba de citar a una reunión a su personal clave para analizar nuevos procedimientos de planeación de inventarios en Green Thumb. El señor Verde inicia la reunión.

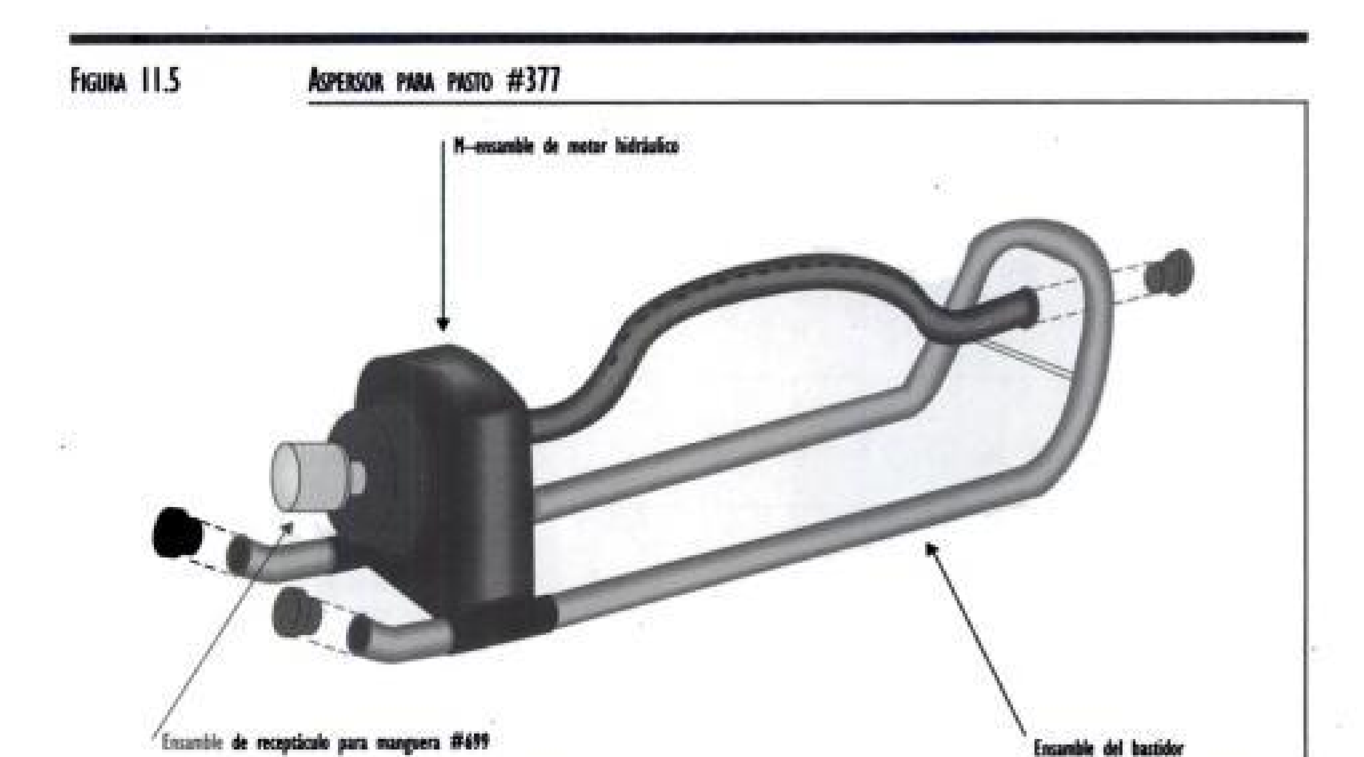
Señor Verde: He citado a esta reunión para explorar nuevos caminos para la planeación de inventarios en nuestra organización. La incidencia de faltantes de almacén en nuestro inventario de materias primas nos ha llevado a pérdida de negocios, hasta el punto de que ya no podemos tolerarlo más. La respuesta no es tener cantidades de pedido más elevadas y mayores existencias de seguridad, dado que los cargos por intereses para mantener posesión de nuestros inventarios nos están comiendo vivos. De alguna manera tenemos que planear nuestra adquisición de materiales para que coincida más de cerca con los pedidos de productos terminados de nuestros clientes.

Bonnie Buck: Estoy completamente de acuerdo, señor Verde. Como gerente de producción, pudiera añadir que cuando en producción colocamos pedidos de materiales al almacén, lo mismo puede ocurrir que no tienen existencias como que sí las tienen. Los almacenes están llenos, pero de materiales equivocados. Algo tiene que hacerse.

Bill Compton: Bueno, como gerente de materiales, aparentemente aquí soy yo quien está en el banquillo de los acusados. Hemos llegado a la conclusión de que nuestro sistema tradicional de cantidad fija de pedidos y de punto de pedido simplemente no está cumpliendo su objetivo. Los pedidos de nuestros clientes son individualmente demasiado grandes y demasiado separados entre sí para que coincidan con los supuestos de nuestro sistema actual. Anticipándose a este problema, Joe Johnson, nuestro analista del sistema de inventarios, ha estado asistiendo a una clase vespertina sobre planeación de requerimientos de materiales (MRP) en la universidad. Joe ha seleccionado el aspersor para pasto #377 (figura 11.5) para demostrar la técnica MRP. Joe, ¿nos hace el favor de demostrar los resultados del análisis?

Joe Johnson: Gracias, señor Compton. He preparado un programa MRP para el #377 con base en nuestro

FIGURA 11.5 ASPERSOR PARA PASTO #377



más reciente programa maestro de producción, en la lista de material del #377 y en el estado de inventarios del #377, así como de sus componentes. El programa de pedidos planeados resume los tiempos recomendados y el tamaño de los pedidos de componentes #377.

Una vez estudiados por los presentes los resultados del análisis MRP, Bonnie Buck tiene algunas preguntas aclaratorias.

Bonnie Buck: Por lo que comprendo de la mecánica de MRP, ¿podrías tomar simplemente un componente del programa MRP y explicar los cálculos?
Joe Johnson: Seguro, Bonnie. Concentrémonos en el componente C: motor hidráulico. Primero, observa que nuestro análisis de los pedidos de los clientes y de los pronósticos de los pedidos ha dado como resultado la tabla 11.1, que es el programa maestro de producción del aspersor para pasto #377. Se necesitan mil unidades en la semana 4, y dos mil en la semana 8. Después, de la lista de materiales del #377 (tabla 11.2) podemos observar que una unidad del componente C se incorpora en cada unidad del componente M (ensamble del motor hidráulico) y una unidad del componente M entra en cada aspersor #377. Quizás, esta relación se pueda ver más claramente en la figura 11.6 —Estructura del producto: Aspersor para pasto #377— y en la tabla 11.3 —Lista de materiales por niveles: Aspersor para pasto #377. Después, estudiando el programa MRP del #377 de la figura 11.7, nota que la cantidad de unidades #377 disponibles durante la semana 4 es de 200 unidades (diferencia entre el saldo del inventario a mano y la existencia de seguridad). Dado que en la semana 4 necesitamos mil unidades #377 y sólo hay disponibles 200 en el inventario, tenemos un requerimiento neto de 800 unidades en la semana 4. Puesto que toma una semana procesar un lote de unidades #377 a través de las operaciones de ensamble final, las 800 unidades deben iniciarse en ensamble final en la semana 3, es decir, una semana antes.

Si 800 unidades #377 deben iniciar su ensamble final durante la semana 3, se necesitan 800 componentes M en la semana 3, y este requerimiento se muestra como un requerimiento bruto del componente en la semana 3. Cuando se aplica esta misma lógica en el componente M, 600 unidades del componente M deben iniciar su producción durante la semana 2, y esto crea un requerimiento bruto de 600 unidades del componente C en la semana 2.

TABLA 11.1 PROGRAMA MAESTRO DE PRODUCCIÓN: ASPERSOR PARA PASTO #377

	Semana							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimientos brutos				1,000				2,000

TABLA 11.2 LISTA DE MATERIALES: ASPERSOR PARA PASTO #377

Código del padre	Código del componente	Código del nivel	Descripción	Componentes necesarios por padre
	377	0	Aspersor para pasto #377	
	M	1	Ensamble del motor hidráulico	1
377	F	1	Ensamble del bastidor	1
	H	1	Ensamble de receptáculo para manguera #699	1
	A	2	Tubo de aluminio de ½" de diámetro de ⅟₁₆"	10
M	B	2	Tornillos para metal de ½" × ⅟₁₆"	3
	C	2	Motor hidráulico	1
	A	2	Tubo de aluminio de ½" de diámetro de ⅟₁₆"	40
F	D	2	Tapón de plástico de ½" × ½" #115	3
	B	2	Tornillos para metal de ½" × ⅟₁₆"	3

FIGURA 11.6 ESTRUCTURA DE PRODUCTO: ASPERSOR PARA PASTO #377

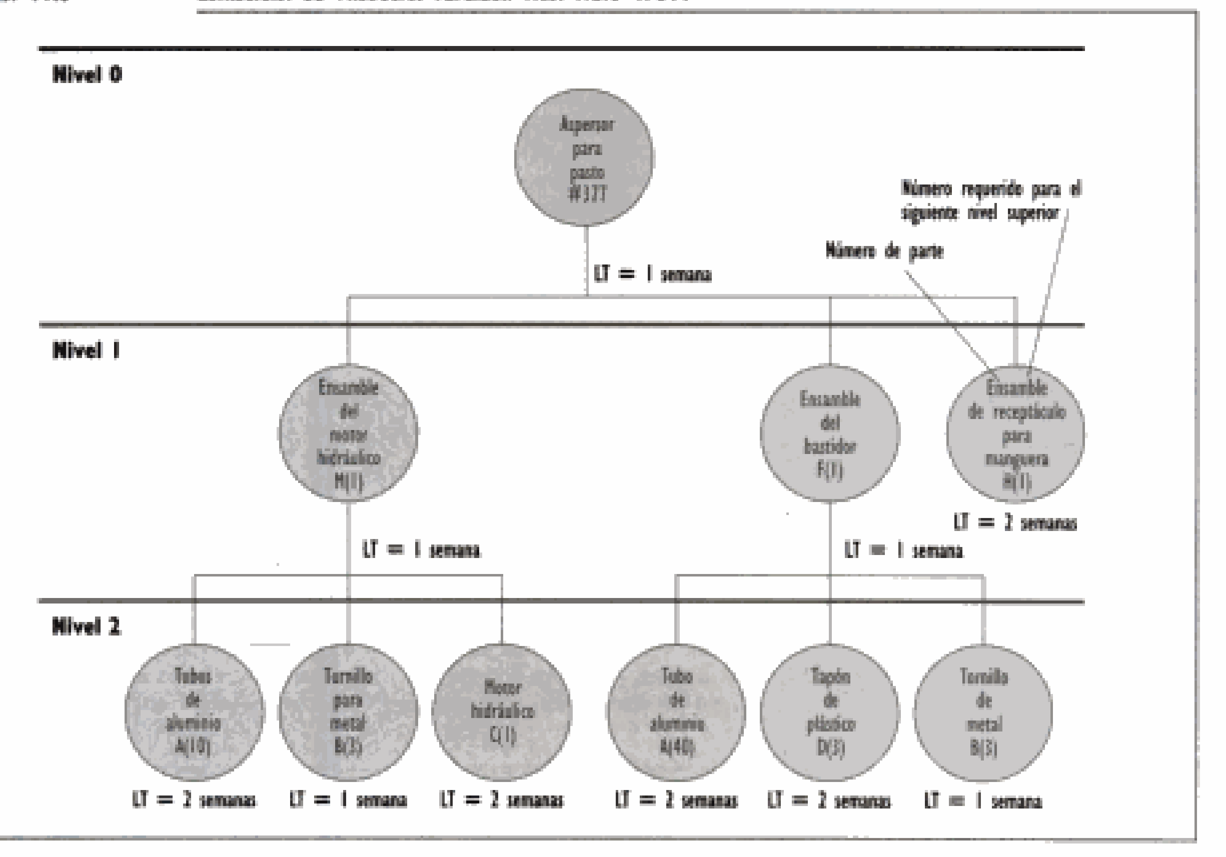


TABLA 11.3 **LISTA DE MATERIALES POR NIVELES: ASPERSOR PARA PASTO #377**

Nivel 0	Nivel 1	Nivel 2	Cantidad
377			1
	M		1
		A	10
		B	3
		C	1
	F		1
		A	40
		D	3
		B	3
	H		1

TABLA 11.4 **REPORTE DEL ESTADO DE INVENTARIOS: ASPERSOR PARA PASTO #377**

Código de la pieza	A la mano	Existencia de seguridad	Asignado	Tamaño del lote*	Plazos de entrega (semanas)	Recepción programada Cantidad	Recepción programada Semana	Pedidos por piezas para servicio Cantidad	Pedidos por piezas para servicio Semana
377	500	300		LFL	1				
M	200	0		LFL	1				
F	300	0		LFL	1				
H	1,500	200	1,000	1,000+	2				
A	30,000	5,000	15,000	50,000+	2	50,000	1		
B	5,000	0	2,500	10,000+	1				
C	1,000	500	800	1,000+	2	1,000	1	1,000	4
D	3,000	0	2,000	10,000+	2	10,000	1		

*El signo (+) indica que puede pedirse cualquier cantidad por encima del mínimo, por ejemplo, 1,000+ indica que pueden pedirse 1,000 o más.

Los requerimientos brutos de dos mil unidades del componente C durante la semana 6 resultan directamente de los requerimientos brutos del #377 de la semana 8. Los requerimientos brutos de mil unidades del componente C durante la semana 4 proviene de la necesidad de embarcar partes para servicio a los clientes. Esta información se encuentra en la tabla 11.4: Reporte del estado de inventarios. Aspersor para pasto #377. Esto explica la forma en que se determinaron los requerimientos brutos del componente C. Una explicación adicional de todos los requerimientos brutos del programa MRP de la figura 11.7 aparece en la tabla 11.5: Cálculos de los requerimientos brutos. Aspersor para pasto #377. Para calcular el Disponible durante la semana, vea la nota en la parte inferior de la figura 11.7.

Los requerimientos brutos de 600 unidades del componente C durante la semana 2 se cumplen mediante la recepción programada de 1,000 unidades en la semana 1, aunque sólo 700 de esas unidades están disponibles para su uso durante la semana 2, ya que nos faltaban 300 unidades al principio de la semana 1 debido a una sobreasignación del inventario a la mano más allá de su existencia de seguridad. Los requerimientos brutos de 600 unidades de la semana 2, combinados con las 700 unidades disponibles de la semana 2, nos dan 100 unidades disponibles para cumplir con los requerimientos brutos de mil unidades de la semana 4. Estos nos deja un requerimiento neto de 900 unidades en la semana 4 y mil unidades, que es el tamaño mínimo del lote que se planea recibir durante la semana 4. Después de desplazarse dos semanas por el plazo de entrega para recibir el embarque del componente C, deberíamos liberar el pedido de mil unidades en la semana 2. Los requerimientos brutos de 2000 unidades de la semana 6 se calculan de manera similar. ¿Comprendes ahora la forma en que avanzamos a través del programa MRP en la figura 11.7?

Bonnie Buck: Sí. ¿Cómo sabes que son factibles el MPS y el programa de pedidos planeados? En otras palabras, ¿de qué manera sabes que tenemos la capacidad de producción para producir el MPS y cómo sabes que los materiales estarán disponibles a tiempo para que nos permitan producir el MPS?

Joe Johnson: Es una buena pregunta, Bonnie. Sabemos que los materiales comprados estarán disponibles en cantidades suficientes y a tiempo para satisfacer el programa de pedidos planeados (tabla 11.6) porque hemos

FIGURA 11.7 **PROGRAMA MRP: ASPERSOR PARA PASTO #377**

Código del artículo	Código del nivel	Tamaño del lote	Plazo de entrega semanas	A la mano	Existencia de seguridad	Asignados		Número de semana 1	2	3	4	5	6	7	8
377	0	LFL	1	500	300		Requerimientos brutos				1,000				2,000
							Recepciones programadas								
							Disponible	200	200	200	200				
							Requerimientos netos				800				2,000
							Recepción de pedidos planeados				800				2,000
							Liberación de pedidos planeados			800				2,000	
M	1	LFL	1	200			Requerimientos brutos			800				2,000	
							Recepciones programadas								
							Disponible	200	200	200					
							Requerimientos netos			600				2,000	
							Recepción de pedidos planeados			600				2,000	
							Liberación de pedidos planeados		600				2,000		
F	1	LFL	1	300			Requerimientos brutos			800				2,000	
							Recepciones programadas								
							Disponible	300	300	300					
							Requerimientos netos			500				2,000	
							Recepción de pedidos planeados			500				2,000	
							Liberación de pedidos planeados		500				2,000		
H	1	1,000+	2	1,500	200	1,000	Requerimientos brutos			800				2,000	
							Recepciones programadas								
							Disponible	300	300	300	500	500	500	500	
							Requerimientos netos			500				1,500	
							Recepción de pedidos planeados			1,000				1,500	
							Liberación de pedidos planeados	1,000				1,500			
A	2	50,000+	2	30,000	5,000	15,000	Requerimientos brutos		26,000				100,000		
							Recepciones programadas	50,000							
							Disponible	60,000	60,000	34,000	34,000	34,000	34,000		
							Requerimientos netos						66,000		
							Recepción de pedidos planeados						66,000		
							Liberación de pedidos planeados				66,000				
B	2	10,000+	1	5,000		2,500	Requerimientos brutos		3,300				12,000		
							Recepciones programadas								
							Disponible	2,500	2,500	9,200	9,200	9,200	9,200	7,200	7,200
							Requerimientos netos		800				2,800		
							Recepción de pedidos planeados		10,000				10,000		
							Liberación de pedidos planeados	10,000				10,000			
C	2	1,000+	2	1,000	500	800	Requerimientos brutos		600		1,000		2,000		
							Recepciones programadas	1,000							
							Disponible	700	700	100	100	100	100		
							Requerimientos netos				900		1,900		
							Recepción de pedidos planeados				1,000		1,900		
							Liberación de pedidos planeados		1,000		1,900				
D	2	10,000+	2	3,000		2,000	Requerimientos brutos		1,500				6,000		
							Recepciones programadas	10,000							
							Disponible	11,000	11,000	9,500	9,500	9,500	9,500	3,500	3,500
							Requerimientos netos								
							Recepción de pedidos planeados								
							Liberación de pedidos planeados								

Nota: Disponible de la semana 1 = A la mano − Existencia de seguridad − Asignado + Requerimientos netos de recepciones programadas = Requerimientos brutos − Disponible

TABLA 11.5 CÁLCULOS DE LOS REQUERIMIENTOS BRUTOS: ASPERSOR PARA PASTO #377

Código del Componente	Código del padre	Componentes requeridos por padre	Componentes requeridos para la producción de los padres: Cantidad	Semana	Partes para servicio requeridas: Cantidad	Semanas	Requerimientos brutos totales: Cantidad	Semanas
M	377	1	800	3			800	3
M	377	1	2,000	7			2,000	7
F	377	1	800	3			800	3
F	377	1	2,000	7			2,000	7
H	377	1	800	3			800	3
H	377	1	2,000	7			2,000	7
A	M	10	6,000	2				
A	F	40	20,000	2			26,000	2
A	M	10	20,000	6				
A	F	40	80,000	6			100,000	6
B	M	3	1,800	2				
B	F	3	1,500	2			3,300	2
B	M	3	6,000	6				
B	F	3	6,000	6			12,000	6
C	M	1	600	2			600	2
C	—	—			1,000	4	1,000	4
C	M	1	2,000	6			2,000	6
D	F	3	1,500	2			1,500	2
D	F	3	6,000	6			6,000	6

TABLA 11.6 PROGRAMA DE PEDIDOS PLANEADO: ASPERSOR PARA PASTO #377

Código del artículo	Semana 1	2	3	4	5	6	7	8
377			800				2,000	
M		600				2,000		
F		500				2,000		
H	1,000				1,500			
A				66,000				
B	10,000				10,000			
C		1,000		1,900				
D								

comprobado dos veces lo anterior ante nuestros proveedores. Este método de verificar si se pueden suministrar los materiales a tiempo para hacer que la producción del MPS sea factible es una continua necesidad del MRP. Si descubrimos que tal vez un material no puede suministrarse a tiempo o en cantidades suficientes para llenar nuestro programa de pedidos planeados, sólo nos quedarían dos alternativas: acelerar la entrega del pedido, y quizás pagar más para tener el pedido procesado en tiempo extra por nuestros proveedores, o cambiar el MPS y repetir nuevamente todo el proceso de MRP. Si se cambia el MPS, el producto final afectado tendría que desplazarse en periodos futuros posteriores dentro del MPS.

El MPS también se verificó en lo que se refiere a la factibilidad de la capacidad de producción. Se desarrollaron programas de carga para cada departamento de producción en la planta; se incluyeron todos los productos del MPS, y resultó claro que existía suficiente capacidad de producción en cada departamento que nos permitiera producir el MPS. Con esto llegamos a un punto interesante. ¿De qué manera desarrollamos programas detallados de producción semanal del programa MRP que se muestra en la figura 11.7? Sólo los elementos 377 M y F, que son los elementos de nivel superior, requieren de producción en la planta, todos los demás se adquieren de proveedores.

Los departamentos de producción donde se fabrican los elementos 377 M y F incluyen las

liberaciones de pedidos planeados para estos elementos en sus programas de carga. Por ejemplo, deben entrar a producción del departamento de fabricación y ensamble mecánicos 600 y dos mil unidades del componente M en la semanas 2 y 6 respectivamente. La cantidad de mano de obra por unidad y las horas máquina por unidad se multiplican por estas cantidades, y el resultado es la capacidad de producción correspondiente al componente requerido en el departamento M. Cuando se sigue este mismo procedimiento para todos los productos, la carga se puede comparar con la mano de obra y con la capacidad de máquinas del departamento. Este mismo análisis de carga también se aplicaría al departamento de ensamble final y al departamento de fabricación y ensamble metálico.

Como puedes ver, la planeación de requerimientos de capacidad (CRP), como se conoce este análisis, es una porción necesaria del proceso general de producción y de planeación de inventarios. Adicionalmente, de los programas MRP se seleccionan los programas detallados de producción de los departamentos de producción. Cuando se toman todas las liberaciones de pedidos planeados de todos los componentes del programa MRP, que se van a producir en la fábrica y se clasifican de acuerdo a sus departamentos de producción, el resultado son los programas de producción de cada departamento.

¿Notas la conexión entre MRP y los programas de producción departamentales?

Bonnie Buck: Sí. Ahora, ¿puedes resumir, por favor, la forma en que en la práctica se aplicaría el MRP a todos nuestros productos?

Joe Johnson: El procedimiento para nuestros seis productos principales sería mecánicamente el mismo que hemos mostrado para el #377. La diferencia más importante estaría en la computarización de todo el proceso, las cifras que hemos visto aquí se calcularon manualmente. Éstas podrían ser las tareas principales para hacer que un sistema MRP se volviera operativo: 1) elaborar un archivo computarizado preciso de los estados de inventarios de todos nuestros productos, 2) mejorar nuestros métodos de pronóstico, de manera que podamos combinar pronósticos con pedidos de clientes a la mano para formar una base confiable de un programa maestro de producción preciso, 3) elaborar un archivo de listas de material computarizado actualizado de todos nuestros productos y 4) contratar los servicios de ABM Computer Services para que nos ayuden a instalar el programa de cómputo MRP y a eliminar los errores del sistema MRP después de su instalación. Yo estimaría que podríamos tener un sistema MRP operando para todos nuestros productos en aproximadamente seis meses.

Señor Verde: Joe, ¿cuáles son las ventajas principales del MRP sobre nuestro sistema actual de planeación de inventarios, que está ligado con cantidades económicas de pedido y puntos de pedido?

Joe Johnson: 1) mejor servicio al cliente, 2) menores niveles de inventario y 3) una eficiencia de operación más elevada en nuestros departamentos de producción.

Todo el grupo decidió probar el MRP ejecutando el nuevo sistema en paralelo con el sistema actual durante seis meses. Supusieron que este procedimiento les permitiría tener una comparación práctica de los resultados de MRP con el actual sistema de planeación de inventarios.

El programa de pedidos planeados (tabla 11.6) es el resultado principal del MRP. El **programa de pedidos planeados** es un programa de liberación futura de pedidos planeados durante todo el horizonte de planeación. Este reporte indica a los programadores de compras y de producción qué materiales pedir, en qué cantidades pedirlos y cuándo hacer los pedidos, para cada uno de los materiales del sistema de producción.

Dimensionamiento de lotes en MRP

En MRP, siempre que existe el requerimiento neto de un material debe tomarse una decisión en relación con cuánto pedir. Comúnmente estas decisiones se conocen como **decisiones de dimensionamiento del lote**. En empresas que producen sobre pedido, el tamaño del pedido del cliente es, por lo general, el tamaño del lote que se producirá, porque no se puede suponer que en el futuro existirán otros pedidos para el producto diseñado sobre pedido. Por otra parte, en las empresas de producción para existencias, dado que sólo se producen unos pocos diseños estándar para inventario, el tamaño de los lotes de producción es principalmente un problema económico. Normalmente, los gerentes de operación desearían pedir y producir grandes lotes de materiales por tres razones:

1. Es menor el costo anual por cambios de máquinas entre lotes de producción y mayor la capacidad de producción porque hay menos pérdidas de tiempo causadas por cambios de máquina.

2. Es inferior el costo anual de colocación de pedidos de compra, porque sólo se hacen unos cuantos pedidos a los proveedores por grandes cantidades de materiales.
3. Al pedir grandes cantidades de materiales a los proveedores, se pueden aprovechar los descuentos en precio y en costo de transporte, resultando en menores costos de compra.

Por otra parte, los gerentes de operaciones normalmente desearían producir pequeños lotes de materiales, por estas razones:

1. Los lotes pequeños de materiales dan como resultado niveles menores promedio de inventarios y el costo de almacenar inventarios es inferior.
2. Un menor nivel de inventario puede reducir el riesgo de obsolescencia, cuando se cambian los diseños de los productos.
3. Lotes más pequeños dan como resultado un menor inventario en proceso y los pedidos de los clientes se pueden producir más rápidamente.

Los gerentes de operaciones no pueden tener simultáneamente las ventajas de los lotes pequeños y de los grandes lotes. Deben llegar a un lote que no sea demasiado pequeño ni demasiado grande. Se han realizado grandes investigaciones para desarrollar métodos para determinar el tamaño de los lotes. Por ejemplo, en el capítulo 10, se utilizó el EOQ para determinar el tamaño de los lotes, pero dos suposiciones limitantes del EOQ hacen que su uso resulte costoso en MPS y en MRP.

Primero, el EOQ básico supone que el costo por unidad no depende de la cantidad de material pedido, y sabemos que los proveedores a menudo ofrecen descuentos por cantidad para los materiales que venden. De igual forma, para los materiales producidos en la fábrica, como se ilustra en la figura 10.1, el tamaño del lote afecta el costo unitario del material. Los gerentes de operaciones, por lo tanto, o bien utilizan el EOQ con descuentos por cantidad o, quizás con mayor frecuencia, especifican **tamaños mínimos de lote**. Para materiales comprados, este tamaño mínimo de lote típicamente está en los puntos de descuento y para los materiales producidos en la fábrica el tamaño mínimo de lote es un punto, como las 5,000 unidades de la figura 10.1, donde el costo unitario se eleva rápidamente si se produce una cantidad menor. Por ejemplo, un tamaño mínimo de lote de 5,000 unidades significa que puede pedirse cualquier cantidad superior a, o igual a 5,000 unidades, pero nunca menor de 5,000. Si existe una necesidad neta de 2,000 unidades de este material, se pediría un tamaño de lote de 5,000 unidades. Por otra parte, si existiera una necesidad neta de 9,999 unidades, se pediría un lote de 9,999 unidades.

Segundo, el EOQ supone que la demanda de un material es uniforme de una semana a la siguiente. *En MRP y MPS, los requerimientos netos de los materiales se han descrito como demandas en bloque. La* ***demanda en bloque*** *significa que la demanda varía mucho de una semana a la siguiente.* En la presencia de demandas en bloque, a menudo otros métodos de tamaño de lotes exhiben costos menores que el EOQ. Dos métodos adicionales de tamaño de lotes son el **método de lote por lote** y el **método de cantidad periódica de pedido (POQ)**. El ejemplo 11.1 demuestra el uso de estos métodos al aplicarse en un programa de requerimientos netos. También se han probado otros procedimientos; los métodos de menor costo total, de menor costo unitario y del equilibrio de partes del periodo se analizan y describen en el libro de Orlicky.[1] Los métodos heurísticos de Gaither,[2] Groff[3] y Silver and Meal[4] proporcionan un buen desempeño de costos y su uso es muy eficiente. El método de Wagner y Whitin produce óptimos resultados, pero está basado en programación dinámica y es difícil de comprender, y quizás no pueda desplegar un buen desempeño en costos cuando semanalmente ocurran muchos cambios en los requerimientos netos.[5]

Es importante comprender que el método de dimensionar un lote al menor costo depende de los datos: costos y patrones de la demanda. Se aconseja experimentar antes de seleccionar un método para sistemas específicos de producción.

EJEMPLO 11.1

DECISIONES DE DIMENSIONAMIENTO DE LOTE PARA MATERIALES CON DEMANDA EN BLOQUE

Los requerimientos netos de un material de un programa MRP son:

	Semanas							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimientos netos	300	500	1,000	600	300	300	300	1,500

La demanda anual de este producto final se estima en 30,000 unidades durante un programa de 50 semanas al año, es decir, un promedio de 600 unidades por semana. Cuando se inicia un lote de producto cuesta 500 dólares hacer los cambios de máquina del departamento de ensamble final para este producto final. Cuesta 0.50 dólares por unidad mantener en inventario de una semana a la siguiente una unidad de este producto. Por lo tanto, cuando una unidad de este producto está en el inventario final, debe trasladarse al inventario inicial de la siguiente semana e incurre en el costo de almacén de 0.50 dólares por unidad. Determine cuál de estos métodos de dimensionamiento de los lotes resulta en los menores costos de almacenar y de cambio (o de pedir) para el programa de ocho semanas: **a)** lote por lote (LFL), **b)** cantidad económica de pedido (EOQ), o **c)** cantidad periódica de pedido (POQ).

SOLUCIÓN

a. Desarrolle los costos totales de almacenar y de pedir a lo largo del programa de ocho semanas para el método de lote por lote. *Los lotes de producción de lote por lote (LFL) son iguales a los requerimientos netos de cada periodo.*

	Semana								Costos		
	1	2	3	4	5	6	7	8	Almacenar	De pedir	Total
Requerimientos netos	300	500	1,000	600	300	300	300	1,500			
Inventario inicial	0	0	0	0	0	0	0	0			
Lotes de producción	300	500	1,000	600	300	300	300	1,500	$0	$4,000	$4,000
Inventario final	0	0	0	0	0	0	0	0			

Costos de pedir = número de pedidos × $500 = 8 × $500 = $4,000

b. Desarrolle los costos totales de almacenar y de pedir a lo largo del programa de ocho semanas para el método de determinación de lotes EOQ. *Los lotes de producción EOQ son iguales al EOQ calculado.*
Primero, calcule el EOQ:

$$EOQ = \sqrt{2DS/C} = \sqrt{2(30{,}000)(500)/(0.50)(50)} = 1{,}095.4 \text{ o } 1{,}095 \text{ unidades}$$

	Semana								Costos		
	1	2	3	4	5	6	7	8	Almacenar	De pedir	Total
Requerimientos netos	300	500	1,000	600	300	300	300	1,500			
Inventario inicial	0	795	295	390	885	585	285	1,080			
Lotes de producción	1,095	—	1,095	1,095	—	—	1,095	1,095	$2,495	$2,500	$4,995
Inventario final	795	295	390	885	585	285	1,080	675			

Costos de almacenar = suma de los inventarios finales × $0.50 = 4,990 × $0.50 = $2,495

Costo de pedir = cantidad de pedidos × $500 = 5 × $500 = $2,500

c. Desarrolle los costos totales de almacenar y de pedir a lo largo del programa de ocho semanas para el método de determinación de lotes POQ. *Los lotes de producción POQ son iguales a los requerimientos netos para los periodos POQ calculados.*

Primero, calcule el POQ:

$$POQ = \frac{\text{Cantidad en semanas por año}}{\text{Cantidad de pedidos por año}} = \frac{50}{D/EOQ} = \frac{50}{30{,}000/1{,}095.4}$$

$$= 1.83 \text{ o } 2 \text{ semanas por pedido}$$

	Semana								Costos		
	1	2	3	4	5	6	7	8	De almacenar	De pedir	Totales
Requerimientos netos	300	500	1,000	600	300	300	300	1,500			
Inventario inicial	0	500	0	600	0	300	0	1,500			
Lotes de producción	**800**	—	**1,600**	—	**600**	—	**1,800**	—	$1,450	$2,000	$3,450
Inventario final	500	0	600	0	300	0	1,500	0			

Costo de almacenar = suma de los inventarios finales × $0.50 = 2,900 × $0.50 = $1,450
Costo de pedir = cantidad de pedidos × $500 = 4 × $500 = $2,000

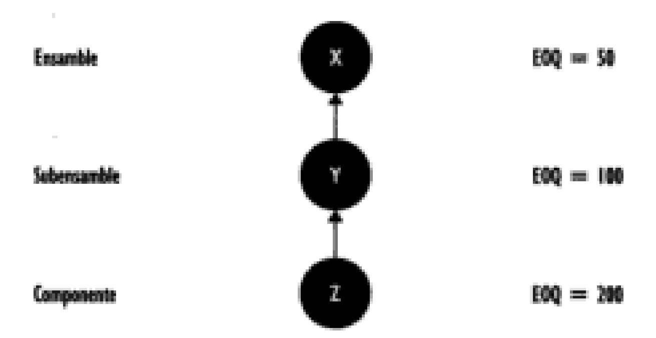
Entre los métodos de determinación de lotes considerados para estos datos, el método POQ exhibe el menor costo de almacenar y de pedir para el programa de requerimientos netos de ocho semanas.

El renglón de requerimientos netos en el programa MRP de cada componente se analiza para determinar la sincronización del tamaño de los lotes de producción o de los lotes comprados utilizando una de las técnicas de dimensionamiento de lotes mencionadas anteriormente. El renglón de recepción de pedidos planeados de MRP es el resultado final de estas decisiones de determinación de lotes.

Tópicos en MRP

Cualquier tratamiento de MRP debe incluir un análisis de los tópicos de importancia que todavía queden por resolver.

Dimensionamiento de los lotes Existe un problema potencial cuando se aplican las técnicas de dimensionamiento de lotes a todos los niveles de la estructura del producto. El uso del dimensionamiento de lotes en los componentes de nivel inferior (materias primas y componentes) no plantea ningún problema serio, pero algunos usuarios de MRP creen que el uso de tamaños económicos de lotes para los componentes de nivel superior (elementos finales y ensambles), puede dar como resultado acumulaciones excesivas de componentes de los niveles inferiores. Por ejemplo, tres componentes están interrelacionados como sigue:



Si se recibe un pedido del cliente por 25 unidades del componente X, si no hay inventario a la mano para los componentes X, Y y Z, y si se colocan pedidos iguales al EOQ, entonces el inventario disponible para su uso inmediato después de embarcar el pedido del cliente será:

TABLA 11.7 **CARACTERÍSTICAS DESEABLES DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN ADECUADOS PARA MRP**

1. Un sistema de cómputo efectivo.
2. Listas computarizadas precisas de *materiales* y archivos del estado de inventarios para todos los productos terminados y todos los materiales.
3. Un sistema de producción que manufactura productos discretos formados por materias primas, componentes, subensambles y ensambles procesados a través de muchos pasos productivos.
4. Procesos de producción que requieren tiempos largos de proceso.
5. Plazos de entrega relativamente confiables.
6. El programa maestro fijo durante un periodo suficiente para la procuración de materiales, sin excesivo seguimiento ni confusión.
7. Apoyo y compromiso por parte de la gerencia general.

sistema de planeación de los requerimientos de materiales sea fácil de adaptar a los cambios sufridos en las demandas de productos terminados.

Conforme se actualiza semanalmente el MPS, los programas MRP también se actualizan semanalmente. Otra razón para la actualización semanal de los programas MRP es permitir que cualquier cambio en entradas de MRP se refleje en los programas. Dado que el archivo del estado de inventarios y sus registros de materiales podría haber cambiado desde la última actualización, los programas MRP incorporan estos cambios. Por ejemplo, digamos que para un cierto material hemos cambiado de proveedores y el plazo de entrega de compras para el material se ha modificado. La actualización siguiente en los programas MRP reflejará este cambio. De manera similar, si la ingeniería fuera a cambiar el archivo de lista de materiales para aplicar cambios en el diseño del producto, después de la siguiente actualización, los programas MRP también reflejarían estos cambios.

Una de las grandes mejoras de los sistemas MRP respecto a los métodos de cantidad de pedido y de punto de pedido tradicionales de la planeación de requerimientos de materiales es su naturaleza dinámica. MRP se adapta efectivamente al cambio y los gerentes de operaciones reciben información basada en las condiciones presentes, en vez de las condiciones prevalecientes hace varias semanas o meses.

EVALUACIÓN DE MRP

Las ventajas que se le asignan a MRP sobre procedimientos más convencionales de planeación de inventarios, por ejemplo las cantidades fijas de pedido y los puntos de pedido, se han demostrado aquí y en otras partes en la administración de la producción y de las operaciones: mejor servicio al cliente, menores niveles de inventario y mayor eficiencia de operación en los departamentos de producción. Todo esto suena tan bien, que nos preguntamos por qué no todo el mundo se ha cambiado a MRP. Hay buenas razones para ello.

La tabla 11.7 enlista las características de los sistemas de producción que apoyan una implantación exitosa de MRP. La presencia de un sistema de cómputo efectivo es algo obligatorio. Otras dos características que similarmente parecerían prácticamente automáticas son archivos precisos y exactos de listas de materiales y estado de inventarios. La ausencia de estos archivos, así como un sistema inefectivo de cómputo, a menudo son los que en la práctica plantean los dolores de cabeza más grandes para la implantación del MRP. La corrección de deficiencias de este tipo puede tomar la mayor parte del tiempo de implantación.

Convencionalmente MRP se aplica únicamente a sistemas de manufactura. Estas organizaciones procesan productos discretos para los cuales es posible tener listas de material, un requisito de MRP. Esto significa que MRP rara vez se aplica a sistemas de servicio, a refinerías de petróleo, a sistemas de menudeo, a empresas de transporte y a otros sistemas que no son de manufactura. Muchos piensan que MRP se puede aplicar con éxito a algunos de estos sistemas que no son de manufactura. Cuando los sistemas de servicio requieren conjuntos de materias primas para entregar una unidad de servicio (una seudolista de material), potencialmente se podría aplicar MRP. Las operaciones quirúrgicas en grandes hospitales, los servicios profesionales a altos volúmenes y otros procesos tienen probabilidades de utilizar sistemas MRP en el futuro.

MRP es de mayor beneficio en sistemas enfocados a los procesos que tienen tiempos de procesamiento largos y pasos complejos multietapa de producción, porque allí es donde la planeación de la producción y de los inventarios es más compleja. Imagínese un sistema hipotético de producción que instantáneamente convierte las materias primas en productos terminados, como es el caso en algunos sistemas simples enfocados a productos. Las materias primas se podrían pedir para que coincidan exactamente con las necesidades de productos terminados. En la mayoría de los sistemas enfocados a los procesos, sin embargo, los plazos de entrega para el procesamiento dentro de la fábrica pueden exceder los plazos de entrega requeridos para obtener las materias primas de los proveedores. La capacidad de MRP de compensar la recepción de pedidos planeados para liberaciones de pedidos planeados que consideran plazos de entrega largos y pasos complejos de procesamiento de la producción simplifica de manera importante la planeación de la producción y de inventarios.

A fin de que MRP resulte efectivo, los plazos de entrega deben ser confiables. También, el MPS debe estar *fijo* durante cierto tiempo, antes de que se inicie la producción real del MPS, lo que quiere decir que, lo que se vaya a producir, en MPS, debe saberse con certidumbre y el tiempo y la cantidad de materias primas y de recepción de éstas debe ser confiable. Cuando los lotes de las materias primas son grandes y la variabilidad en la demanda es pequeña, los sistemas de planeación de inventarios de tamaño lote económico y de punto de pedido tienden a funcionar bastante bien, porque aplica el supuesto de una demanda uniforme. MRP, por lo tanto, ofrece más mejora en la planeación de inventarios cuando los lotes son de pequeño tamaño y la variabilidad de la demanda es grande.

MRP no ha sido y no se aplicará a todos los sistemas de producción. En algunas aplicaciones de la administración de la producción y de las operaciones, MRP no es ni necesario ni económicamente justificable. La frecuencia en el uso de MRP tiene, sin embargo, definitivamente una dramática tendencia a crecer. Conforme adquirimos más experiencia en el uso de MRP, nos vamos dando cuenta de que no se trata de la panacea, pues no resuelve todos nuestros problemas de planeación de inventarios. Básicamente, MRP es un sistema de información de administración de la producción y de las operaciones computarizado. Cuando los sistemas de cómputo no son efectivos, los archivos de los estados de inventario y de las listas de material no son precisos, los programas maestros de producción no son confiables, y cuando el resto de la organización de alguna manera también está mal administrada, MRP —o cualquier otra técnica— no será de gran ayuda, pues generará rápidamente volúmenes más elevados de información inexacta y no utilizada. MRP se aplica mejor cuando los sistemas de producción están básicamente bien administrados y lo que se necesita es un sistema más completo de planeación de la producción y de inventarios.

La implantación de un sistema MRP no es un proceso indoloro. Dado que MRP es un sistema de información impulsado por información, la simple adquisición de software y quizás de algo de hardware no garantiza un sistema MRP de éxito. En la implantación de un sistema MRP hay algunos costos de arranque significativos y ciertos costos continuos. Muchos de estos costos están asociados con la corrección de información mala o inadecuada, así como con la institución de una disciplina de sistema para asegurarnos que la información correcta seguirá fluyendo hacia el sistema MRP. Éstos, por lo general, son costos ocultos que a menudo no se reconocen formalmente al presentar una propuesta para un sistema MRP.

PLANEACIÓN DE REQUERIMIENTOS DE CAPACIDAD (CRP)

La planeación de los requerimientos de capacidad (CRP) es la parte de la planeación de las necesidades de recursos que somete a prueba el programa maestro de producción (MPS) en lo que se refiere a su factibilidad de capacidad. En el proceso de esta prueba, se desarrolla un plan para la asignación de pedidos a centros de trabajo, el uso del tiempo extraordinario, del equipo sustituto de reserva y de la subcontratación. La figura 11.8 ilustra este proceso. CRP toma las **liberaciones de pedidos planeados** de los programas MRP y los asigna a los centros de trabajo, consultando los planes de ruta. Los **planes de ruta** especifican la secuencia de los procesos de producción requeridos por cada pedido. Después, los lotes de materiales se convierten a datos de carga de la capacidad, utilizando los estándares de mano de obra y de máquina, y entonces se preparan programas semanales de carga para cada centro de trabajo, que incluyen todos los pedidos. Si hay suficiente capacidad disponible en todos los centros de trabajo, en todas las semanas, se aprueba el MPS. De

FIGURA 11.8 **EL PROCESO DE LA PLANEACIÓN DE REQUERIMIENTOS DE CAPACIDAD**

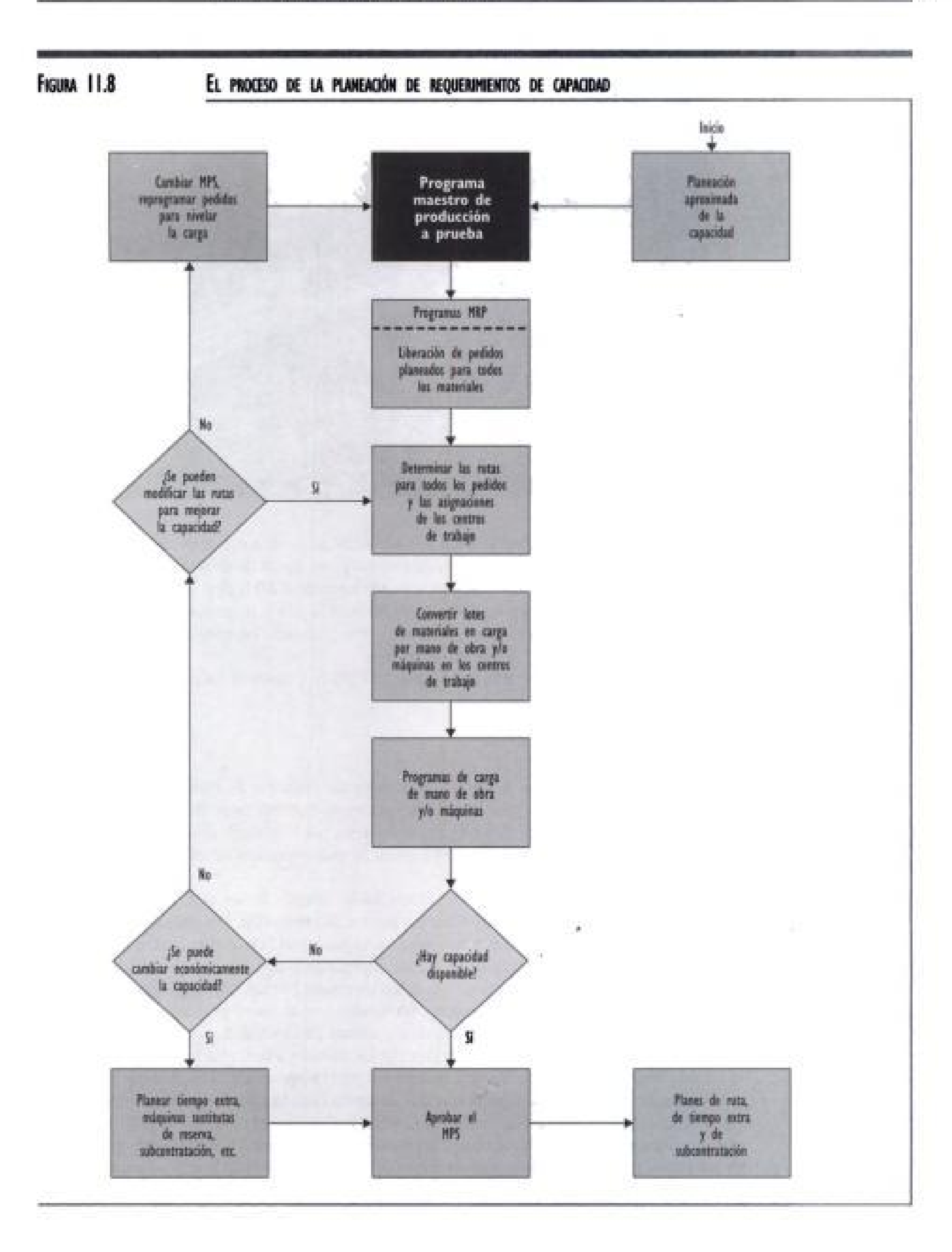


FIGURA 11.9 EFECTOS DE CARGA DEL MPS EN LAS CAPACIDADES DE LOS CENTROS DE TRABAJO

	Semanas									
	−2	−1	1	2	3	4	5	6	7	8
Ensamble final (unidades)			800		1,600		600		1,800	
Horas de mano de obra			400		800		300		900	
Horas máquina			240		480		180		540	
Ensamble del bastidor (unidades)		800		1,600		600		1,800		
Horas de mano de obra		320		640		240		720		
Horas máquina		280		560		210		630		
Pedir componente #115 (partes)	2,400		4,800		1,800		5,400			

se incluyen todos los elementos finales del MPS se pueden comparar la totalidad de las horas de mano de obra y máquina requeridas semanalmente, en cada centro de trabajo, con la cantidad disponible. Estas comparaciones permiten a los gerentes de producción determinar semanalmente la factibilidad del MPS en cada centro de trabajo y también responder a preguntas de operación relativas a tiempo extraordinario, máquinas sustitutas de reserva, subcontratación y otros problemas de sobrecarga o de subcarga.

Supongamos que tenemos un MPS tentativo y deseamos probar su factibilidad a través de CRP. Para ello, se pueden utilizar programas de carga como los que se ilustran en la figura 11.10. De estos programas podemos determinar lo siguiente:

1. La carga en horas de mano de obra está desequilibrada en el departamento de producción. Parecería que parte del trabajo de fabricación debe desplazarse de las semanas 3, 4 y 8 a las semanas 5, 6 y 7. Una revisión de la carga de las máquinas del departamento de producción en estas semanas indica que ese desplazamiento no causaría sobrecarga de las máquinas.
2. El cambio que se sugiere arriba en fabricación no afectará adversamente al ensamble final, porque todas las unidades en fabricación pasan a ensamble final una semana más tarde y se puede utilizar tiempo extra para aligerar las horas de mano de obra de sobrecarga de la semanas 6, 7 y 8 de ensamble final. En todas las semanas de ensamble final la carga en horas máquina no es factor limitante.
3. Al nivel de la planta, la parte final del programa está sobrecargado tanto en horas-máquina como en horas de mano de obra. Se podría utilizar tiempo extra para aligerar la sobrecarga de horas de mano de obra y la subcontratación o el uso de máquinas sustitutas de reserva podría reducir la sobrecarga de horas-máquina. Sin embargo, siempre hay otra alternativa y es la de modificar el MPS para desplazar los productos finales de la parte posterior del programa a semanas anteriores.

Si se modifica el MPS, entonces la lógica del CRP se aplicaría de nuevo a través de un conjunto revisado de programas de carga. En este proceso desarrollamos un MPS tentativo y, entonces, lo modificamos a través de CRP hasta que no solamente resulte factible el MPS, sino también los centros de trabajo se cargan económicamente. Eso promueve eficiencia en la operación interna y bajos costos unitarios en todo el sistema de manufactura.

FIGURA 11.10 LA JERARQUÍA DE CARGA DE CAPACIDAD

Horas de mano de obra (000) | Horas-máquina (000)

Planta de Knoxville

Departamento de ensamble final

Departamento de fabricación

Semanas

Subcarga | Sobrecarga



RECOPILACIÓN

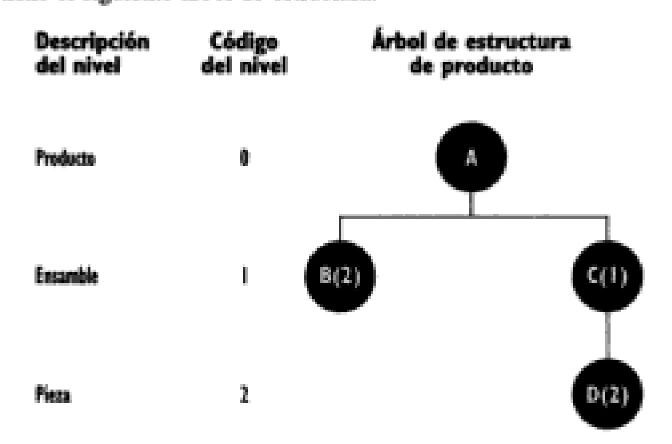
LO QUE HACEN LOS PRODUCTORES DE CLASE MUNDIAL

Desde hace tiempo, los productores de clase mundial se han alejado del uso de sistemas de planeación y control de la producción del tipo de agotamiento de depósito hacia sistemas MRP y CRP. Probablemente se iniciaron como usuarios MRP de clase D: aquellos que utilizaron simples explosiones de componentes para pedir los materiales. Después, conforme fueron aprendiendo, incorporaron más y más características MRP, hasta que se convirtieron en usuarios clase A, aquellos que han adoptado la planeación de recursos de manufactura (MRP II) o la planeación de recursos de la empresa (ERP). Para estos usuarios, sus sistemas MRP son sistemas completos y totales de información de la producción. Estos sistemas de información, que abarcan a toda la organización, proporcionan planes a corto plazo que guían a la empresa hacia una mejor productividad, menores costos y un mejor servicio al cliente.

Los productores de clase mundial están continuamente mejorando sus sistemas MRP. A continuación, algunos ejemplos de interesantes características que se están incluyendo:

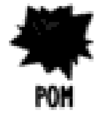
- Se ha desarrollado un sistema de establecimiento de plazos de entrega, que responden a las condiciones económicas y de la operación. Si los pedidos pendientes son elevados y el inventario en proceso es grande, se utilizan

7. Un producto tiene el siguiente árbol de estructura:



Complete este programa MRP:

Código del artículo	Código de nivel	Tamaño del lote	Plazo de entrega (semanas)	A la mano	Existencia de seguridad	Asignado		Semana 1	2	3	4	5	6
A	0	LFL	1	2,000	1,500		Requerimientos brutos				2,000	1,000	2,000
							Recepciones programadas	1,000					
							Disponible						
							Requerimientos netos						
							Recepción de pedidos planeados						
							Liberación de pedidos planeados						
B	1	LFL	1	1,200	700	500	Requerimientos brutos						
							Recepciones programadas						
							Disponible						
							Requerimientos netos						
							Recepción de pedidos planeados						
							Liberación de pedidos planeados						
C	1	1,500+	1	1,500	500	500	Requerimientos brutos						
							Recepciones programadas						
							Disponible						
							Requerimientos netos						
							Recepción de pedidos planeados						
							Liberación de pedidos planeados						
D	2	3,000+	2	2,000	500	1,000	Requerimientos brutos						
							Recepciones programadas						
							Disponible						
							Requerimientos netos						
							Recepción de pedidos planeados						
							Liberación de pedidos planeados						



8. Cada subensamble E del problema 5 está formado por dos partes G, una parte H y una parte I. Complete un programa MRP para el subensamble E y todos sus componentes.

	Subensamble E	Parte G	Parte H	Parte I
Tamaño del lote	900+	1,500+	1,500+	2,000+
Plazo de entrega	semana 1	semana 1	semana 1	semana 2
A la mano	500	400	800	800
Existencia de seguridad	200	—	—	500
Asignado	500	—	600	500

Componente		Semana 1	2	3	4	5
E	Requerimientos brutos		1,000	700	900	800
E	Recepciones programadas	1,000				
G	Recepciones programadas	700				
H	Recepciones programadas	1,000				
I	Recepciones programadas	2,000				



9. Un producto tiene esta lista de material por niveles:

Nivel 0	1	2	3	Cantidad
500				1
	10			1
		11		2
		12		1
	20			1
		21		1
		22		2
	30			2

Se acaba de emitir este reporte del estado de inventarios para el proyecto:

Código de artículo	A la mano	Existencia de seguridad	Asignado	Tamaño del lote	Plazo entrega (semanas)
500	300	200	—	LFL	1
10	200	100	50	LFL	1
20	400	100	50	LFL	1
30	400	100	50	LFL	1
11	500	100	100	500+	1
12	400	100	100	500+	1
21	400	200	200	1,000+	1
22	400	200	200	1,000+	1

a. Prepare un programa MRP para todos los componentes del producto para que cubra un horizonte de planeación de cinco semanas si el MPS del producto muestra una demanda estimada o requerimientos brutos iguales a 500 unidades en las semanas 4 y 5.
b. ¿Es factible el MPS desde la perspectiva del suministro de los materiales?

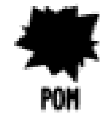


10. Un producto tiene la siguiente lista de material por niveles:

Nivel 0	1	2	3	Cantidad
3,650				1
	100			1
		110		1
		120		1
		130		1
	200			1
		210		1
			211	1
			212	1
		220		2
	300			1
		310		1

Este reporte del estado de inventarios acaba de emitirse respecto al proyecto:

a. Prepare un programa MRP para todos los componentes del producto cubriendo un horizonte de planeación de seis semanas si el MPS del producto muestra una demanda estimada, es decir, requerimientos brutos de dos mil unidades en la semana 5 y 2,500 unidades en la semana 6.
b. ¿Es factible el MPS desde una perspectiva de suministro de materiales?
c. Si el MPS no es factible, ¿qué acciones podrían tomarse para hacerlo factible?



12. En el ejemplo de Green Thumb Water Sprinkler Company de este capítulo, el MPS se modifica de mil unidades de la semana 4 a 2,000 unidades de la semana 8 ya 2,500 unidades en las semanas 4, 5 y 7. Si todos los demás datos del caso se mantienen sin cambio:
   a. Prepare un programa MRP.
   b. ¿Es factible el MPS desde la perspectiva de suministro de materiales (componentes comprados o producidos)?
   c. ¿Qué acciones podrían tomarse para permitir que Green Thumb cumpla con los requerimientos de suministro de materiales del MPS?

13. Un fabricante produce las unidades Q44 del problema 5. El informe del estado de inventarios exhibe la siguiente información para la unidad Q44:

Componente	Tamaño del lote	Plazo de entrega (semanas)	A la mano	Existencia de seguridad	Asignado	Recepciones programadas: Cantidad	Recepciones programadas: Semana
Q44	LFL	—	100	—	—	—	—
A	1,500+	2	1,500	200	200	1,500	1
B	LFL	—	500	200	100	1,000	1
C	2,000+	1	1,000	300	300	1,000	1
D	1,500+	1	1,500	100	200	1,000	1
E	1,000+	1	2,000	500	500	3,000	1
F	2,000+	1	1,200	500	—	700	1
G	3,000+	1	1,600	500	300	1,000	1
H	2,000+	2	1,600	500	100	2,000	1
I	2,000+	2	1,800	500	300		

El MPS de la planta muestra estas cantidades, que se van a producir de la unidad Q44:

Producto	Semana 1	2	3	4	5
Unidad Q44		2,500	1,700	1,900	1,800

   a. Si todavía no lo ha hecho, elabore un árbol de estructura de producto de la unidad Q44.
   b. Complete un programa MRP de la unidad Q44 y de todos sus componentes.

14. Si los requerimientos netos semanales de un producto son 700, 800, 900, 500, 1,000 y 800 unidades en un horizonte de planeación de seis semanas, el costo de almacén por unidad es de un dólar para cada unidad que deba trasladarse de 1 a la semana siguiente, con 52 semanas de trabajo anuales, y si el costo de pedir es de 500 dólares por pedido, desarrolle un programa de los lotes terminados de producción y calcule el costo de su programa utilizando los siguientes métodos:
   a. Lote por lote (LFL, por sus siglas en inglés).
   b. Cantidad económica de pedido (EOQ, por sus siglas en inglés).
   c. Cantidad de pedidos periódicos (POQ, por sus siglas en inglés).
   Usted puede despreciar los efectos de los inventarios iniciales y de la existencia de seguridad en sus cálculos.

15. Se le da el siguiente programa de requerimientos netos:

	Semana 1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimientos netos (unidades)	500	500	1,000	3,000	1,500	2,500	2,000	1,000

Si cuesta 6,000 dólares alistar al departamento de ensamble final para ensamblar lotes de producto y cuesta 30 dólares almacenar una unidad en el inventario durante un año y se trabajan 52 semanas por año en el departamento de ensamble final, desarrolle un programa de lotes terminados de producción para el producto y calcule el costo de su programa utilizando los siguientes métodos:
a. Lote por lote (LFL)
b. Cantidad económica de pedido (EOQ)
c. Cantidad de pedido periódico (POQ)
Puede despreciar los efectos del inventario inicial y de la existencia de seguridad en sus cálculos.

16. Dado el siguiente programa de requerimientos netos para un producto, para las siguientes seis semanas, si cuesta 3,000 dólares poner en marcha la línea de producción y cuesta seis dólares tener en almacén una unidad del producto durante una semana, desarrolle un programa de lotes terminados de producción para el producto y calcule el costo de su programa utilizando los siguientes métodos:

	Semana					
	1	2	3	4	5	6
Requerimientos netos	500	700	500	700	400	600

a. Lote por lote (LFL).
b. Cantidad económica de pedido (EOQ).
c. Cantidad de pedido periódico (POQ).
Puede despreciar los efectos del inventario inicial y de la existencia de seguridad en sus cálculos.

Planeación de los requerimientos de capacidad (CRP)

17. Ever-Pure Water Company está ubicada encima de un manantial en Blackwater, Arkansas. La empresa embotella el agua, para su embarque a los clientes, a través de una red de distribuidores. La administración de Ever-Pure ha desarrollado este programa maestro de producción para las siguientes seis semanas:

	Semana					
	1	2	3	4	5	6
Agua (galones)	100,000	150,000	200,000	150,000	150,000	100,000

Las horas de mano de obra y de máquina disponibles de Ever-Pure y sus estándares de producción son los siguientes:

	Mano de obra	Máquina
Capacidad mensual disponible (horas)	17,333	25,000
Estándar de producción (horas/galón)	0.10	0.15

a. Determine la utilización porcentual (horas estándar × 100/horas de capacidad) de la capacidad de mano de obra y de máquinas a la semana.
b. ¿Qué sugerencias daría a la gerencia de Ever-Pure en relación con su MPS?

18. Silver Streak Iron Works produce tres modelos de válvulas para pozos de la industria petrolera. Cada válvula debe procesarse en tres departamentos de producción: fundición, fabricación y ensamble. Se requiere aproximadamente de una semana para que se termine una válvula procesada a través de cada departamento. Silver Streak está ahora en el proceso de planeación de requerimientos de capacidad (CRP) y acaba de desarrollar su MPS:

	Semana							
Modelo	1	2	3	4	5	6	7	8
X-100	300	500	500	600	700	500	200	300
Y-101	500	300	400	200	300	500	300	400
Z-102	600	500	700	700	800	600	800	600

Las capacidades semanales de mano de obra y de máquina para los departamentos de producción son:

	Fundición		Fabricación		Ensamble	
Modelo	Estándar de mano de obra (horas/unidad)	Estándar de máquina (horas/unidad)	Estándar de mano de obra (horas/unidad)	Estándar de máquina (horas/unidad)	Estándar de mano de obra (horas/unidad)	Estándar de máquina (horas/unidad)
X-100	2.0	3.0	1.5	2.0	1.5	1.0
Y-101	2.5	3.5	2.0	2.5	1.5	1.5
Z-102	3.0	3.5	1.5	2.5	2.0	1.5

a. Desarrolle los programas de carga de mano de obra y de máquina de cada departamento y de la planta para las primeras seis semanas del MPS. (Recuerde desplazar en función de plazos de entrega en departamentos.)
b. Interprete el significado de su programa de carga: ¿es factible el MPS? ¿Están los departamentos de producción cargados con eficiencia? ¿Puede hacer usted una sugerencia para modificar la MPS y mejorar la carga?

Casos

Integrated Products Corporation

Integrated Products Corporation (IPC) produce tarjetas gráficas y módem internos para computadoras personales y de pequeños negocios. Cada uno de estos productos debe procesarse en dos departamentos de manufactura: primero, a través de fabricación de componentes y, posteriormente, a través de ensamble. Aproximadamente se requiere de una semana para procesar un tablero gráfico o un módem en cada uno de los dos departamentos de manufactura. A continuación, aparece el programa maestro de producción (MPS) de los productos correspondientes a seis semanas.

	Semana					
	1	2	3	4	5	6
Tablero gráfico	500	600	700	900	1,000	800
Módem	290	900	810	600	600	600

Las capacidades semanales de mano de obra y de máquina para los departamentos de producción son:

Departamento	Capacidad en horas de mano de obra (horas de mano de obra por semana)	Capacidad en horas-máquina (horas-máquina por semana)
Fabricación	16,000	9,000
Ensamble	10,000	3,000

Los estándares de mano de obra y de máquina para cada uno de los productos en los departamentos de manufactura son:

	Fabricación		Ensamble	
Producto	Estándar de mano de obra (horas/unidad)	Estándar de máquina (horas/unidad)	Estándar de mano de obra (horas/unidad)	Estándar de máquina (horas/unidad)
Tarjeta gráfica	9.0	5.0	8.0	2.0
Módem	8.0	6.0	6.0	2.0

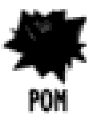
Reporte del estado de inventarios, ensamble electrónico 8800

Código del artículo	A la mano	Existencia de seguridad	Asignado	Tamaño de lote	Plazo de entrega (semana)	Recepciones programadas		Pedidos de componentes para servicio	
						Cantidad	Semana	Cantidad	Semana
8800		500		LFL	1		1		
1201	556	200	250	LFL	1			500	3
210	422	200	190	500+	1				
11	691	500	0	500+	2				
12	816	500	100	5,000+	1				
13	939	300	0	5,000+	1				
220	853	250	100	500+	1				
230	828	200	200	500+	2				
1301	543	200	0	LFL	1			600	4
310	665	500	0	500+	1				
320	854	300	0	500+	1				
330	597	400	150	500+	1				
1401	986	300	400	LFL	2				
1501	675	300	0	LFL	1				
510	658	0	0	500+	1				
14	785	100	0	5,000+	1				

Tarea

1. Prepare un programa MRP para todos los componentes del producto que cubra un horizonte de planeación de seis semanas.
2. ¿Es el MPS factible desde una perspectiva de suministro de materiales?
3. Si el MPS no es factible, ¿qué acciones deberían tomarse para hacerlo factible?

Blanco Foods: Planeación de requerimientos de materiales en la industria de procesamiento



POM

Blanco Foods manufactura productos alimenticios. Entre sus muchos productos está una barra de pan muy popular, Bright & Early, utilizada para tostadas en el desayuno. Esta empresa utiliza un horizonte de planeación de seis semanas en sus planes de comercialización y producción, y está ahora en el proceso de desarrollar un plan de requerimientos de materiales. Su departamento de planeación de producción acaba de reunir esta información, que se utilizará para estos planes:

1. La demanda o requerimientos netos semanarios estimados para el producto de Bright & Early son 1,200; 1,500; 900; 1,800; 2,000, y 1,500.
2. La lista de materiales para el producto de Bright & Early es:

Código del padre	Código del componente	Código del nivel	Descripción	Número de componentes por unidad de padre
	B&E	0	Hogaza de pan para tostada de desayuno	
B&E	A	1	Mezcla de masa	1.0 libras
B&E	B	1	Recubrimiento	0.1 libras
B&E	C	1	Pasas	0.2 libras
A	D	2	Harina	0.60 libras
A	E	2	Paquete de levadura, sal y azúcar	0.15 libras
A	F	2	Paquete de leche y huevo	0.35 libras

3. La capacidad actual de producción es adecuada para producir el producto de Bright & Early.
4. Los plazos de entrega para los materiales que se compran son: B = 1 semana, C = 1 semana, D = 2 semanas, E = 2 semanas, y F = 2 semanas. D, E, y F pueden reducirse a una semana utilizando aceleración y costos adicionales por fletes.
5. El reporte del estado de inventarios para el producto Bright & Early es:

Código del artículo	A la mano	Existencia de seguridad	Asignado	Tamaño del lote	Recepciones programadas	
					Cantidad	Semana
B&E	500	250		LFL		
A	1,600#		1,500#	LFL		
B	1,050#		1,000#	LFL	1,500#	1
C	1,200#		2,000#	LFL	1,000#	1
D	1,900#	1,000#	2,000#	2,000#+	2,000#	1
E	1,500#	1,000#	1,000#	1,000#+	1,000#	1
F	1,800#	1,000#	1,000#	1,000#+	1,000#	1

Tarea

1. Prepare un programa MRP para el producto Bright & Early. ¿Es factible el plan desde el punto de vista de la disponibilidad de los materiales? ¿Qué seguimiento, si es que se necesita alguno, se requiere para hacer que Blanco Foods cumpla con las necesidades de materiales del MPS?
2. Resuma su plan de requerimiento de materiales para el producto Bright & Early y esboce cualquier medida extraordinaria necesaria para hacer que el plan sea factible.

NOTAS FINALES

1. Orlicky, Joseph. *Material Requirements Planning*, págs. 120–138. Nueva York: McGraw-Hill, 1975.
2. Gaither, Norman. "A Near-Optimal Lot-Sizing Model for Material Requirements Planning Systems." *Production and Inventory Management* 22 (cuarto trimestre de 1981): 75–89.
3. Groff, G. K. "A Lot-Sizing Rule for Time Phased Component Demand." *Production and Inventory Management* 20 (primer trimestre de 1979): 47–53.
4. Silver, E. A., y H. C. Meal. "A Heuristic for Selecting Lot Size Quantities for the Case of a Deterministic Time-Varying Demand Rate and Discrete Opportunities for Replenishment." *Production and Inventory Management* 14 (segundo trimestre de 1973): 64–75.
5. Wagner, H. M., y T. M. Whitin. "Dynamic Version of the Economic Lot Size Model." *Management Science* 5, no. 1 (octubre de 1958): 89–96.
6. Cox, James F., III, John H. Blackstone, y Michael S. Spencer, eds. *APICS Dictionary*, 8ª edición, pág. 14. Falls Church, VA: APICS—The Educational Society for Resource Management, 1995.
7. *Ibid.*, 48.
8. *Ibid.*, 27.

BIBLIOGRAFÍA SELECCIONADA

Bancroft, Nancy. *Implementing SAP R/3: How to Introduce a Large System into a Large Organization.* Greenwich, CT: Manning, 1996.

Berry, W. L. "Lot Sizing Procedures for Requirements Planning Systems: A Framework for Analysis." *Production and Inventory Management* 13 (segundo trimestre de 1972): 19–34.

Cerveny, Robert P., y Lawrence W. Scott. "A Survey of MRP Implementation." *Production and Inventory Management* 30, no. 3 (tercer trimestre de): 31–34.

Cox, James F., III, John H. Blackstone y Michael S. Spencer, eds. *APICS Dictionary,* 8ª. edición. Falls Church, VA: APICS—The Educational Society for Resource Management, 1995.

Diamond, James. "Production and Inventory Control: The Move to the PC." *IIE Solutions* 29, no. 1 (enero de 1997): 18–22.

Gaither, Norman. "A Near-Optimal Lot-Sizing Model for Material Requirements Planning Systems." *Production and Inventory Management* 22 (cuarto trimestre de 1981): 75–89.

Gambrel, Bryan y Angela Kozlowski, editores. *Special Edition Using Baan IV.* Indianapolis, IN: Que, 1998.

Gray, Christopher D. y Darryl V. Landvater. *MRP II Standard System: A Handbook for Manufacturing Software Survival.* New York: John Wiley & Sons, 1995.

Groff, G. K. "A Lot-Sizing Rule for Time Phased Component Demand." *Production and Inventory Management* 20 (primer trimestre de 1979): 47–53.

Haddock, Jorge, y Donald E. Hubicki. "Which Lot-Sizing Techniques Are Used in MRP?" *Production and Inventory Management* 30, no. 3 (tercer trimestre de 1989): 57.

Hernández, José Antonio. *The SAP R/3 Handbook.* Nueva York: McGraw-Hill, 1997.

Higgins, Paul, Patrick Le Roy y Liam Tierney. *Manufacturing Planning and Control: Beyond MRP II.* Nueva York: Chapman & Hall, 1996.

Kearney, Willie T., Jr. "A Proven Recipe for Success: The Seven Elements of World-Class Manufacturing." *National Productivity Review* 16, no. 4 (otoño de 1997): 67–76.

Miller, Jeffrey G., y Linda G. Sprague. "Behind the Growth in Material Requirements Planning." *Harvard Business Review* 53 (septiembre-octubre de 1975): 83–91.

Orlicky, Joseph, y George W. Plossl. *Orlicky's Material Requirements Planning.* Nueva York: McGraw-Hill, 1994.

Plossl, George W. *Production and Inventory Control: Principles and Techniques.* Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1985.

Ptak, Carol A. *MRP and Beyond: A Toolbox for Integrating People and Systems.* Chicago: Irwin Professional Publishing, 1997.

Schroeder, Roger G., et al. "A Study of MRP Benefits and Costs." *Journal of Operations Management* 2, no. 1 (octubre de 1981): 1–9.

Segerstedt, Anders. "Formulas of MRP." *International Journal of Production Economics* 46–47 (diciembre de 1996): 127–136.

Sharpe, Simon. *10 Minute Guide to SAP R/3.* Indianapolis, IN: Que, 1997.

Silver, E. A., yd H. C. Meal. "A Heuristic for Selecting Lot Size Quantities for the Case of a Deterministic Time-Varying Demand Rate and Discrete Opportunities for Replenishment." *Production and Inventory Management* 14 (segundo trimestre de 1973): 64–75.

Stephens, Early. *Implementing PeopleSoft Financials: A Guide for Success.* Greenwich, CT: Manning Publications Company, 1997.

Wagner, H. M., y T. M. Whitin. "Dynamic Version of the Economic Lot Size Model." *Management Science* 5, no. 1 (octubre de 1958): 89–96.

Wallace, Thomas F. *MRP II: Making It Happen: The Implementers' Guide to Success with Manufacturing Resource Planning.* Essex Junction, VT: O. Wight Limited Publications, 1994.

DECISIONES DE PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN MICRO-SCANNERS CORPORATION

Era lunes por la mañana, cinco minutos después del inicio del turno diurno en Micro-Scanners Corporation, y Lisa Johnson estaba analizando las órdenes pendientes de trabajo en su máquina. Ella y su capataz estudiaron las seis órdenes pendientes, para intentar decidir en qué secuencia Lisa debería producirlas. Primero, estudiaron la liberación de órdenes planeadas en el programa más reciente MRP. Una orden había llegado temprano y no tenía programada su liberación para (arrancar a través) el centro de trabajo sino hasta la siguiente semana; esta orden la colocó en la parte posterior de la línea de pendientes. Otra orden ya se había vencido, porque se había programado su liberación al centro de trabajo la semana anterior; esta orden se colocó en el frente de la línea. Ahora, Lisa y su capataz tenían que decidir en qué secuencia producir las cuatro órdenes restantes. El capataz sabía que elementos como costos de producción, uso de la capacidad y promesas de entrega a los clientes se afectarían por su decisión. Aunque las cuatro órdenes podrían producirse con base en primeras llegadas primeras salidas, Lisa prefería trabajar sobre órdenes que podían terminarse más aprisa, porque así podrían terminarse más órdenes por turno, con lo que ella se vería bien. El capataz suponía que las órdenes con fecha más urgente de entrega prometida y con mayor cantidad de trabajo por hacer deberían producirse primero. Pasaron a la página cinco del informe MRP para buscar las relaciones críticas para las cuatro órdenes: 0.95, 1.05, 1.25 y 1.30. El capataz le explicó a Lisa que estas relaciones se habían calculado dividiendo el tiempo que restaba hasta la fecha de vencimiento entre el tiempo de producción disponible; por lo tanto, las órdenes con baja relación crítica habían de producirse primero. Lisa tenía ahora sus instrucciones y sabía cuál era la secuencia para producir las órdenes. El capataz se preguntaba los efectos que tendría su decisión en el costo de la producción y en la utilización de la capacidad.

Hasta ahora, en la parte III hemos estudiado la planeación agregada, el programa maestro de producción (MPS), los sistemas de inventarios de demanda independiente y la planeación de requerimientos de materiales (MRP). Estos elementos de la planeación de la producción nos informan sobre los productos y componentes que deben producirse en cada semana del horizonte de planeación, pero los problemas cotidianos en el piso de planta descritos en el relato de arriba quedan sin resolverse.

En este capítulo trataremos de considerar problemas de piso en la planta al analizar la programación en manufacturas enfocadas a los procesos y a los productos.

PROGRAMACIÓN DE LA MANUFACTURA ENFOCADA A LOS PROCESOS

Las fábricas enfocadas a procesos a menudo se conocen como *talleres artesanales*. Un **taller artesanal** es una organización en la cual los centros de trabajo o los departamentos están organizados alrededor de tipos similares de funciones o especializaciones departamentales, como forja, fresado, torneado, tratamiento térmico, barrenado y ensamble. Por lo general, las tareas se procesan en lotes, basándose el tamaño del lote en el tamaño del pedido del cliente o en alguna cantidad económica. Cada tarea u orden sigue un camino específico a través de varios centros de trabajo y debido a la amplia diversidad de tareas que se procesan en un taller artesanal, típicamente existen varios caminos.

Los talleres artesanales generalmente utilizan sistemas de empujar, en lo que se refiere a planeación y control de la producción, y MRP es la parte central de estos sistemas. La figura 12.1 ilustra que la programación y las decisiones de piso de taller en operaciones enfocadas a los procesos, es decir, en los talleres artesanales, por lo general se inician con el informe de liberación de órdenes planeadas provenientes de un sistema MRP. Se define una orden como la cantidad de un número único de una parte. Dado que esta parte va recibiendo un número diferente conforme va pasando a través de las etapas sucesivas de la producción, una orden para un número de una parte o de componente único puede quedar ligada a centros de trabajo específicos dentro de la fábrica. Del informe de liberación de órdenes planeadas del sistema MRP se puede determinar cuándo deben liberarse las órdenes para cada número de componente (producción autorizada), y del sistema CRP puede de-

TABLA 12.1 MANUFACTURA ENFOCADA A LOS PROCESOS: CARACTERÍSTICAS Y SUS IMPLICACIONES DE PROGRAMACIÓN

Características	Implicaciones de programación
Operaciones de tipo similar se agrupan con una supervisión común	Deben desarrollarse y coordinarse numerosos programas individuales de centros de trabajo dentro de los departamentos de producción
Los productos son muy diversos y algunas veces diseñados sobre pedido	Gran cantidad de planeación de preproducción es necesaria para establecer rutas de instrucciones de trabajo, planes de procesamiento y diseños del producto
Los pasos del proceso no están acoplados y las órdenes pueden seguir una multitud de trayectorias o caminos a través de los sistemas de producción	Un sistema de control de producción complejo debe planear y controlar el movimiento de las órdenes a través del sistema de producción
Se acumulan inventarios en proceso entre pasos del proceso. Los trabajadores poseen una diversidad de habilidades. Las máquinas pueden adaptarse a una diversidad de productos y operaciones	Existe gran flexibilidad en el desplazamiento de trabajadores y máquinas de una orden a otra
Las cargas de trabajo comunes no están balanceadas entre cada uno de los pasos del proceso	Una carga adicional tiene que ser resuelta por los programadores para cargar totalmente a las instalaciones y minimizar el tiempo ocioso y la subutilización
Cuando ocurren fallas en el equipo, retardos en la entrega de materiales y otras interrupciones, las operaciones subsecuentes no se afectan de inmediato	Se deben incluir menos previsiones para tiempo ocioso en los programas
Se pueden acumular muchas órdenes en cada paso de la producción	Debe establecerse un sistema de prioridades que determine qué orden deberá programarse primero en cada centro de trabajo
Los productos típicamente son del tipo de producir sobre pedido	Largos plazos de entrega son necesarios para la manufactura y la entrega de los materiales. Se utilizan programas de recepción de materias primas (MRP) y programas de producción (MPS)

1. Diseñar el producto de una orden de un cliente
2. Planear la red de centros de trabajo a través de la cual debe pasar la orden antes de su terminación; éste es el **plan de ruta** de la orden.

Los departamentos de control de la producción guían el movimiento de la orden entre centros de trabajo en el plan de ruta. A quienes manejan materiales se les notifica para que pasen la orden al siguiente centro de trabajo utilizando una **ficha de traslado**. La orden puede estar acompañada de dibujos o planos de ingeniería, de especificaciones o instrucciones de trabajo, de manera que los trabajadores en un centro de trabajo tengan la información necesaria para realizar su trabajo sobre la orden. Un programa detallado da al supervisor de producción información respecto a qué orden debe ser producida primero en cada centro de trabajo y cuándo debe terminarse cada una de ellas. Conforme se completa una orden, el trabajador notifica al departamento de planeación y control de la producción, se emite una ficha de traslado para el siguiente centro de trabajo dentro del plan de ruta de la orden y se actualizan los programas detallados. Resulta aparente, entonces, que los programas de los centros de trabajo forman una parte importante de la administración de piso de taller.

Teniendo como antecedente esta descripción del entorno de programación en talleres artesanales, analizaremos ahora la planeación y control de piso de taller.

PLANEACIÓN Y CONTROL DE PISO DE TALLER

El control de piso de taller incluye las siguientes actividades:

1. Asignar una **prioridad** a cada orden, es decir, alguna medida de la importancia relativa de cada orden. Esto ayuda a establecer la secuencia de producción de las órdenes en los centros de trabajo.

2. Emitir listas de despacho para cada centro de trabajo. Estas listas informan al supervisor de producción qué órdenes deben producirse en ese centro de trabajo, sus prioridades y cuándo deberá terminarse cada orden.
3. Mantener actualizado el inventario de trabajo en proceso (WIP, por sus siglas en inglés). Esto incluye conocer la ubicación de cada una de las órdenes y el número de componentes en cada orden dentro del sistema; llevar control del movimiento de las órdenes entre centros de trabajo cuando se usan fichas de traslado o transferencia y saber la cantidad de componentes en buen estado que han sobrevivido en cada paso de la producción, el desperdicio, el trabajo que se requiere y la cantidad de unidades faltantes en cada una de las órdenes.
4. Proporcionar un control de entradas y salidas de todos los centros de trabajo. Esto significa desarrollar información sobre la forma en que fluyen los trabajos entre los centros de trabajo.
5. Medir la eficiencia, la utilización y la productividad de los trabajadores y las máquinas en cada centro de trabajo.

Los departamentos de planeación y control de la producción realizan estas actividades e informan de los resultados a los gerentes de operaciones, de manera que se puedan tomar acciones correctivas cuando las órdenes vayan a retrasarse o cuando en los centros de trabajo ocurran problemas de capacidad o de carga de trabajo.

Control de entradas y salidas *El control de entradas y salidas es una actividad clave que permite a los gerentes de operaciones identificar problemas como, por ejemplo, capacidad insuficiente, capacidad en exceso y dificultades de producción entre grupos de estaciones de trabajo interconectados.* El ejemplo 12.1 presenta un análisis de un informe de control de entradas y salidas. Los gerentes de operaciones pueden determinar si la cantidad de trabajo que fluye hacia un centro de trabajo es la planeada y si la capacidad del centro de trabajo es la adecuada. Si está fluyendo demasiado trabajo a un centro, en comparación con su capacidad, entonces lo que ocurrirá será un exceso en los inventarios en proceso (WIP) en los centros de trabajo que le preceden. Cuando los trabajos se acumulan, no sólo el centro de trabajo se amontona y aglomera, sino que también los centros de trabajo que siguen a continuación pueden quedarse sin trabajo. Si, por otra parte, está fluyendo poco trabajo hacia un centro de trabajo; en comparación con su capacidad, el centro de trabajo puede estar subutilizado y puede dar como resultado máquinas y trabajadores ociosos.

EJEMPLO 12.1

ANÁLISIS DE LOS INFORMES DE ENTRADAS Y SALIDAS

Informe de entradas y salidas al final de la semana 5 para el centro de trabajo 240.

	Semana					
	−1	1	2	3	4	5
Entradas planeadas-horas mano de obra		300	300	300	300	300
Entradas reales-horas mano de obra		250	220	260	180	150
Desviación acumulada		−50	−130	−170	−290	−440
Salidas planeadas-horas mano de obra		300	300	300	300	300
Salidas reales-horas mano de obra		300	270	260	180	150
Desviación acumulada		0	−30	−70	−190	−340
Trabajo en proceso planeado final-horas mano de obra		50	50	50	50	50
Trabajo en proceso real final-horas mano de obra	100	50	0	0	0	0

Arriba se muestra el informe de entradas y salidas del centro de trabajo 240 al final de la quinta semana. Todos los valores dentro del informe están en horas mano de obra. Los trabajos que llegan al centro de trabajo (entradas) se han convertido en horas mano de obra, y los trabajos que salen del centro de trabajo (salidas) también se han convertido en horas mano de obra utilizando los estándares de mano de obra. Esta conversión nos permite comparar diferentes trabajos con una medida común relacionada directamente con la capacidad.

Note que las entradas planeadas al centro de trabajo (trabajos que llegan al centro de trabajo) es de 300 horas de mano de obra en cada una de las últimas cinco semanas, lo que es lo mismo que las salidas planeadas (trabajos que salen del centro de trabajo.) Las salidas reales del centro de trabajo son mucho menores que las planeadas, lo que generalmente pudiera indicar que problemas de producción hayan causado que resulte insuficiente la capacidad del centro de trabajo. Sin embargo, una mirada más cercana a la parte de entrada del informe nos muestra una historia diferente. No han llegado suficientes trabajos de los centros de trabajo anteriores para mantener el centro de trabajo totalmente utilizado. El producto en proceso en el centro de trabajo es de 100 horas mano de obra al final de la semana −1 o al principio de la semana 1, pero este trabajo en proceso se agotó para el final de la segunda semana, al tener entradas insuficientes llegando al centro de trabajo.

La causa de los problemas de producción en los centros de trabajo anteriores deberá determinarse y corregirse de manera que puedan llegar flujos mayores de trabajo al centro de trabajo 240, para equilibrarlos con la capacidad de dicho centro.

La coordinación de los programas del centro de trabajo ayuda en el flujo ordenado de los trabajos entre centros, para lo que son útiles los diagramas de Gantt.

Diagramas de Gantt Se pueden utilizar diagramas de Gantt para desplegar visualmente las cargas de trabajo en cada centro de trabajo de un departamento. La figura 12.2 es un ejemplo de un diagrama de Gantt utilizado para comparar el programa semanal de cinco centros de trabajo en un taller de modelado (taller de producción de productos experimentales). Los trabajos programados durante la semana se despliegan con nombres (A, B, C, etc.) o números de código, y tiempos de inicio y de terminación representados por una barra sin relleno. Conforme avanza el trabajo en una tarea, una barra sólida muestra como se está desempeñando el centro de trabajo en relación con el programa. Los periodos de revisión se muestran con una flecha vertical.

Los cambios en las máquinas, su mantenimiento y otras labores planeadas se indican mediante una X. Los espacios vacíos indican tiempo ocioso planeado en el centro de trabajo; durante estos lapsos no se requieren operarios y, por lo tanto, éstos pueden ser enviados a otros centros, o bien, pueden programarse labores diferentes en estos periodos. Los supervisores y planeadores de producción se apoyan en diagramas de Gantt para detectar el avance de los centros de trabajo en comparación con sus programas. Por ejemplo, la figura 12.2 muestra que el punto de revisión es a mediados de la tarde en miércoles. En ese momento, el centro de trabajo de maquinado está adelantado en el trabajo E aproximadamente medio día sobre su programa, porque su barra sombreada va más hacia la derecha de la flecha vertical; en lo que se refiere al trabajo B, el centro de trabajo de empaque está adelantado aproximadamente tres horas en su programa, los centros de trabajo de prueba y ensamble están en programa, y el centro de trabajo de fabricación tiene en el trabajo D aproximadamente dos horas de retraso respecto al programa. *Los diagramas de Gantt se usan en la mayoría de las fábricas y de las operaciones de servicio, y son muy útiles para coordinar una diversidad de programas de equipos de trabajo, centros de trabajo y actividades de proyectos.*

Carga finita e infinita Se emplean en ocasiones dos procedimientos para asignar trabajos a centros de trabajo: carga finita y carga infinita.

El procedimiento de **carga infinita** se utiliza cuando las labores se asignan a centros de trabajo sin tomar en consideración su capacidad. Este procedimiento abandona la planeación de requerimientos de capacidad (CRP) y sus programas de carga. A menos que una empresa tenga capacidad excesiva de producción, en los centros de trabajo se presentarán filas de espera inaceptables.

El procedimiento de **carga finita** se utiliza cuando la capacidad de los centros de trabajo se asigna a una lista de labores. Utilizando un modelo de simulación por computadora o cualquier otro medio, y modificando los tiempos de inicio y de terminación, la capacidad hora por hora de cada centro de trabajo se asigna a diversas tareas. El resultado final de este procedimiento es que en un centro de trabajo, durante cualquier hora, no se programan más tareas que las correspondien-

FIGURA 12.2 DIAGRAMA DE GANTT PARA LA COORDINACIÓN DE LOS PROGRAMAS DE CENTROS DE TRABAJO

Programa semanal—departamento 3985: taller de modelado

Programa—3/16–3/22

Centros de trabajo
Lunes
Martes
Miércoles
Jueves
Viernes
Sábado

Maquinado: D, E, F
Fabricación: C, D, E, F
Ensamble: B, C, D, E
Pruebas: B, D
Empaque: A, B, C

LEYENDA
DURACIÓN PLANEADA DEL TRABAJO
AVANCE REAL DEL TRABAJO SOBRE EL PLAN
FECHA DE LA PRESENTE REVISIÓN
TRABAJO NO PRODUCTIVO: REPARACIONES, CAMBIOS EN LAS MÁQUINAS, ETC.

tes a su capacidad. Este procedimiento está integrado con CRP y muchas empresas lo utilizan. Vea la Instantánea industrial 12.1 para un análisis de este procedimiento.

Programación hacia adelante y hacia atrás En la preparación de diagramas de Gantt, como el de la figura 12.2 o de los programas de carga, como en la figura 11.10, hay dos formas para determinar la manera de asignar espacios de tiempo para trabajos dentro de los centros de trabajo: programación hacia adelante o programación hacia atrás.

En la **programación hacia adelante**, las tareas se asignan a los espacios de tiempo sin asignar más temprano posible de los centros de trabajo. Este procedimiento supone que los clientes desean que sus trabajos se entreguen tan pronto como sea posible. Aunque es simple de utilizar, generalmente resultan inventarios en proceso excesivos, dado que las tareas tienden a esperar a que se les asignen a su siguiente centro de trabajo.

En la **programación hacia atrás**, el punto de inicio de la planeación es la fecha prometida de entrega para el cliente. Esta fecha se toma como un hecho y se programa hacia atrás a través de los centros de trabajo utilizando los plazos de entrega para determinar cuándo los trabajos deben pasar a través de cada una de las etapas de producción. Los trabajos se asignan a los espacios de tiempo de los centros de trabajo más tardíos posibles en que se pueda cumplir con la fecha de entrega prometida. Aunque este procedimiento requiere de plazos de entrega precisos, tiene tendencia a reducir los inventarios en proceso, porque los trabajos se terminan cuando se necesitan en el siguiente centro de trabajo de su plan de ruta. Por esta razón, el procedimiento predominante utilizado por las empresas progresistas es la programación hacia atrás.

INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 12.1

CARGA FINITA EN SMC

SMC Pneumatics, con oficinas centrales en Japón, es el fabricante más grande del mundo de componentes neumáticos. Sus clientes son firmas industriales como Honda, Toyota, Sony, TRW, Anheuser-Busch y Eli Lilly. SMC tiene plantas en América del Norte en Indianápolis, Los Ángeles, Toronto y ciudad de México. Los productos de la planta de Indianápolis alcanzan la cifra de 16,000, y con sus variantes llegan a 50,000. Debido a una gran cantidad de trabajos sobre pedido en lotes muy pequeños, la programación es una pesadilla. El software de programación de SMC utilizaba un procedimiento de carga infinita, donde las tareas se asignaban a centros de trabajo sin tomar en consideración su capacidad. Esto daba como resultado pugnas continuas para encarar entregas retrasadas de los pedidos de los clientes, un exceso de capacidad consumido por cambios en las máquinas y costos no competitivos. Con un fuerte compromiso en el servicio al cliente y estando en una rama industrial de costos muy competidos, resultaba evidente que tenían que hacerse cambios en los procedimientos de programación.

Para encarar esta necesidad, la compañía adquirió, instaló e implementó *TACTIC: The Scheduler's Assistant*, un software de programación de capacidad finita desarrollado en PC, vendido y apoyado por Waterloo Manufacturing Software (WMS) de Twinsburg, Ohio. Del nuevo software se han obtenido numerosos beneficios. Quizás el más obvio es una reducción de 50% en el costo de programación. Ahora, a los programadores les sobra tiempo para resolver problemas reales en el piso de la planta, en lugar de estar ajustando programas constantemente. El software también permite mirar hacia delante y detectar potenciales dificultades en capacidad, lo que permite que se efectúen los cambios necesarios para evitar problemas. Por ejemplo, ahora es posible un mejor uso del tiempo extra y la reducción de sobrecargas excesivas en las máquinas. Ahora se pueden identificar posibilidades de expandir la capacidad de algunos centros de trabajo a un costo relativamente bajo. La empresa afirma que, gracias a su cambio en el procedimiento de cargas finitas, se han conseguido grandes mejoras en costo, utilidad, calidad y servicio al cliente.

Fuente: "Finite Capacity Scheduling Helps SMC Improve Delivery, Control Cost". *APICS-The Performance Advantage* (febrero de 1993): 24-27.

El control de entradas y salidas y los diagramas de Gantt ofrecen a los gerentes de operaciones formas sistemáticas para ordenar el flujo de tareas en los centros de trabajo. Veamos ahora cómo establecer prioridades.

PROBLEMAS DE SECUENCIACIÓN DE LAS ÓRDENES

En los problemas de secuenciación de las órdenes deseamos determinar la secuencia en la que produciremos un conjunto de órdenes que están a la espera en un centro de trabajo. Analizamos estos problemas al estudiar las diferentes reglas de secuencia, los criterios para la elaboración de dichas reglas de secuencia y una comparación de dichas reglas, así como el control de los costos de cambios y la minimización de los costos de producción.

Reglas de secuenciación Se pueden seguir muchas reglas para establecer prioridades entre órdenes y trabajos que esperan en los centros de trabajo. Entre las más comunes están:

- **Primeras llegadas, primeros servicios (FCFS,** por sus siglas en inglés): el siguiente trabajo que se producirá, de entre los que están esperando, es el que llegó primero.
- **Tiempo de procesamiento más breve (SPT,** por sus siglas en inglés): el siguiente trabajo que se producirá, de entre los que están esperando, es aquel cuyo tiempo de procesamiento es el más corto.
- **Fecha de entrega más cercana (EDD,** por sus siglas en inglés): el siguiente trabajo que se producirá, de entre los que están esperando, es el que tiene la fecha de entrega más cercana (fecha prometida al cliente).
- **Aquel que tenga menos holgura (LS,** por sus siglas en inglés): el siguiente trabajo que se producirá, de entre los que están esperando, es el que tenga la menor holgura (tiempo de fecha de entrega menos tiempo total de producción faltante).

- **Relación crítica (CR,** por sus siglas en inglés)**:** el siguiente trabajo que se producirá, de entre los trabajos que están esperando, es aquel que tenga la relación crítica menor (tiempo de fecha de entrega dividido entre tiempo total de producción faltante).
- **Aquel que tenga el costo de cambio menor (LCC,** por sus siglas en inglés)**:** en vista de que algunos trabajos siguen lógicamente a otros debido a la facilidad en los cambios, la secuencia de los trabajos a la espera se determina al analizar el costo total de hacer todos los cambios de máquina entre tareas.

También pudieran ser aplicables otras reglas, por ejemplo, el de cliente más valioso, el trabajo más redituable y de línea de espera más corta en la siguiente operación.

Criterios para la evaluación de las reglas de secuenciación Al decidir cuál de las reglas de secuenciación se desempeñará mejor para un conjunto de trabajos a la espera, comúnmente se utilizan varios criterios:

- **Tiempo de flujo promedio:** tiempo promedio que los trabajos se quedan en el taller.
- **Cantidad promedio de trabajos en el sistema:** cantidad promedio de trabajos en el taller.
- **Retraso promedio del trabajo:** tiempo promedio que la fecha de terminación del trabajo excede a su fecha de entrega prometida.
- **Costo de cambios:** costo total de efectuar cambios en las máquinas para un conjunto de trabajos.

Una comparación de las reglas de secuenciación A continuación, se demuestra el uso de las reglas de secuencia y de los criterios de evaluación en un sistema de producción con un solo centro de trabajo. El ejemplo 12.2 compara las reglas de secuencia del tiempo más corto de procesamiento y de la relación crítica con la política de primeras llegadas, primeros servicios que actualmente utiliza la empresa.

EJEMPLO 12.2

EVALUACIÓN DE LAS REGLAS DE SECUENCIACIÓN

Precision Machining efectúa maquinados sobre pedido para sus clientes. La compañía actualmente utiliza una regla de secuenciación de primera llegada, primer servicio para los trabajos de los clientes. Dado que la empresa desea terminar más aprisa los trabajos de los clientes, está considerando otras dos reglas: el tiempo de procesamiento más breve y la relación crítica. La empresa cree que estos criterios son importantes en la selección de una regla de secuencia: el tiempo promedio de flujo, la cantidad promedio de tareas en el sistema y el retraso promedio de los trabajos. Estudie la situación de Precision Machining y recomiende una regla de secuenciación.

SOLUCIÓN

Se reciben seis trabajos en Precision, se estiman sus tiempos de producción y se prometen fechas de entrega a los clientes. Utilice las tres reglas para establecer la secuencia de los trabajos y evalúe las reglas de acuerdo con los tres criterios.

1. Para la regla de primera llegada, primer servicio, la secuencia para los trabajos es A, B, C, D, E y F, que es la misma secuencia en que se recibieron los trabajos en Precision. El tiempo de producción y la fecha de entrega prometida se dan a continuación. El tiempo de flujo se calcula sumando el tiempo del trabajo anterior y el tiempo de producción del presente. Si un trabajo ya está retrasado, su retardo es la diferencia entre su tiempo de flujo y la fecha de entrega prometida.

Primera llegada primer servicio (FCFS)

(1) Secuencia de los trabajos	(2) Tiempo de producción (horas)	(3) Fecha de entrega prometida (horas)	(4) Tiempo de flujo (horas)	(5) Retraso (horas) [(4) − (3)]
A	2	4	2	0
B	5	18	7	0
C	3	8	10	2
D	4	4	14	10
E	6	20	20	0
F	4	24	24	0

2. Para la regla del procesamiento más corto, la secuencia se determina por el tiempo de producción de los trabajos. El siguiente trabajo a producir será, aquel entre los que están esperando, que tenga el tiempo de procesamiento más corto. El tiempo de producción y la fecha de entrega prometida se dan a continuación. El tiempo de flujo y los retrasos se calculan igual que en el paso 1.

Tiempo de procesamiento más corto (SPT)

(1) Secuencia de los trabajos	(2) Tiempo de producción (horas)	(3) Fecha de entrega prometida (horas)	(4) Tiempo de flujo (horas)	(5) Retraso (horas) [(4) − (3)]
A	2	4	2	0
C	3	8	5	0
D	4	4	9	5
F	4	24	13	0
B	5	18	18	0
E	6	20	24	4

3. Para la regla de relación crítica, la secuencia se determina calculando las relaciones críticas de todos los trabajos. El siguiente trabajo a producir será aquel, entre los que están en espera, que tenga la relación crítica menor (tiempo de entrega prometida dividido entre el tiempo de producción). El tiempo de producción y la fecha de entrega prometida se dan a continuación. El tiempo de flujo y de retrasos se calculan igual que en el paso 1.

Relación crítica (CR)

(1) Secuencia de los trabajos	(2) Tiempo de producción (horas)	(3) Fecha de entrega prometida (horas)	(4) Relación crítica [(3)/(2)]	(5) Tiempo de flujo (horas)	(6) Retraso (horas) [(5) − (3)]
D	4	4	1.00	4	0
A	2	4	2.00	6	2
C	3	8	2.67	9	1
E	6	20	3.33	15	0
B	5	18	3.60	20	2
F	4	24	6.00	24	0

Evalúe las tres reglas utilizando estos criterios: tiempo promedio de flujo, promedio de trabajos en el sistema y retraso promedio del trabajo.

1. El tiempo promedio del flujo se calcula sumando los tiempos de flujo de los trabajos y dividiendo entre el número de trabajos.

Los costos de cambio en las máquinas incluyen los costos para ajustar las máquinas, así como los materiales o herramientas.



desplazadas hacia la parte trasera del programa. Por lo tanto, la regla deberá olvidarse periódicamente, de manera que los trabajos de larga duración puedan avanzar y elaborarse.

3. **La relación crítica generalmente se desempeña bien sólo con el criterio de retrasos promedio de trabajo.** La relación crítica es intrínsecamente atractiva. Deseamos trabajar primero en aquellas tareas que tienen mayor probabilidad de que sean necesarias antes de que puedan terminarse.

Por lo general, los departamentos de programación analizan el desempeño de las diferentes reglas de secuenciación en conjuntos de tareas o de trabajos representativos, como en el ejemplo de Precision Machining. Una vez que hayan seleccionado la regla que tiende a funcionar mejor en función de los criterios de mayor importancia, se incorpora como parte de su sistema de programación y de piso de taller, aunque se revise de vez en cuando.

Control de los costos de cambio *Los costos de cambio son los costos de cambiar un paso del proceso de un sistema de producción de un trabajo a otro. Incluye los costos por elementos como el cambio de los ajustes en las máquinas, obtener las instrucciones para el trabajo y el cambio en materiales y herramientas.* Por lo general, los trabajos deberán producirse en la secuencia que minimice el costo de estos cambios. Por ejemplo, si dos trabajos utilizan prácticamente los mismos ajustes de máquina, las mismas herramientas y los mismos materiales, el cambiar del primer trabajo al segundo será muy rápido y poco costoso. El ejemplo 12.3 ilustra una regla simple para determinar la secuencia de trabajo que mantendrá reducido el costo de los cambios entre un conjunto de trabajos a la espera. El procedimiento selecciona el primero y segundo trabajos en la secuencia al averiguar cuál es el costo más bajo de cambio entre todos los cambios posibles. Del segundo trabajo en adelante, el siguiente trabajo siempre se determinará seleccionando el cambio de costo más bajo entre los restantes. Esta regla pudiera no ser óptima, pero en la práctica funciona bastante bien.

EJEMPLO 12.3

COSTOS DE CAMBIOS Y SECUENCIACIÓN DE TRABAJOS

Sure Print Company hace trabajos de impresión sobre pedido para empresas locales, candidatos políticos y escuelas. Sure Print está a mediados de una buena temporada de un año de elecciones y gran cantidad de trabajo de carteles políticos están esperando su procesamiento en la prensa de offset. Alicia Smith, que se ocupa de la planeación de los trabajos en Sure Print, está desarrollando un programa de impresión semanal para la prensa de offset. Ha desarrollado los siguientes costos de cambio para los seis trabajos a la espera. Todos los trabajos tienen la misma prioridad, por lo que el factor decisivo en la secuencia de los trabajos es el costo total del cambio para los seis.

		Trabajos que anteceden					
		A	B	C	D	E	F
Trabajos que siguen	A	—	$12	$15	$10	$35	$20
	B	$25	—	20	20	25	20
	C	27	15	—	12	20	15
	D	16	30	10	—	25	30
	E	35	20	25	30	—	30
	F	20	25	15	25	30	—

Alicia utiliza esta regla para desarrollar una secuencia de trabajos de costo bajo: *Primero, entre todos los cambios seleccione el costo de cambio más bajo. El siguiente trabajo a seleccionar tendrá el costo de cambio más bajo de entre los trabajos restantes que siguen al trabajo antes seleccionado.* Puesto que existe empate para los trabajos iniciales (D-A y C-D), Alicia desarrolla dos secuencias:

1. A sigue a D ($10 es el costo mínimo de cambio, D es primero y A sigue).
   F sigue a A (lea hacia abajo de la columna A; el trabajo F tiene el costo de cambio más bajo entre los trabajos restantes).
   C sigue a F (lea hacia debajo de la columna F; el trabajo C tiene el costo de cambio más bajo entre los trabajos restantes).
   B sigue a C (lea hacia abajo la columna C; el trabajo B tiene el costo de cambio más bajo entre los trabajos restantes).
   E sigue a B (lea hacia abajo la columna B; el trabajo E tiene el costo de cambio más bajo entre los trabajos restantes).
   La secuencia de trabajo es DAFCBE; el costo total de cambio es de 10 + 20 + 15 + 20 + 20 = $85.
2. Dado que aparecen valores iguales de empate para los trabajos iniciales arriba citados, ahora se desarrolla una segunda secuencia de trabajo: D sigue a C, A sigue a D, F sigue a A, B sigue a F, y E sigue a B. La secuencia de trabajos es CDAFBE; su costo total de cambio es 10 + 10 + 20 + 20 + 20 = $80.

De las dos secuencias, se prefiere CDAFBE, ya que su costo total de cambios es inferior.

Ahora, Alicia sabe que esto no es necesariamente el costo total de cambio más bajo posible para los seis trabajos. En otras palabras, el método no garantiza una solución óptima, pero la regla simple es fácil de comprender y da resultados satisfactorios.

Otros procedimientos matemáticamente más complejos pueden lograr resultados óptimos. Se ha utilizado **la programación lineal de enteros** para minimizar los costos de cambio, dentro de un conjunto de restricciones, que requieren que todos los trabajos se asignen en la secuencia una sola vez.

Minimización del tiempo total de producción Quizás, de un conjunto de trabajos deseáramos determinar una secuencia de trabajos que minimice el tiempo total para su producción. Este objetivo ordinariamente daría como resultado costos bajos de producción y una elevada utilización de trabajadores y máquinas.

Secuencia de n *trabajos a través de dos centros de trabajo* Cuando las tareas deben secuenciarse a través de dos centros de trabajo, a menudo deseamos seleccionar una secuencia de trabajo que sea válida para ambos centros. Esta situación se puede analizar con efectividad utilizando la regla de Johnson.[1]

El ejemplo 12.4 muestra el uso de la regla de Johnson en el sistema de producción con dos centros de trabajo de Precision Machining. Los trabajos de los clientes deben pasar por maquinado (centro de trabajo 1) y acabado (centro de trabajo 2) en una misma secuencia de trabajos. La secuencia de trabajos que resulte tendrá para todos los trabajos el tiempo de producción total mínimo en estos dos centros.

EJEMPLO 12.4

SECUENCIA DE TRABAJO A TRAVÉS DE DOS CENTROS DE TRABAJO UTILIZANDO LA REGLA DE JOHNSON

Existen dos centros de trabajo en Precision Machining, maquinado y acabado. La administración de Precision desea adoptar un procedimiento que establezca una secuencia en la que los trabajos pasen a través de ambos centros de trabajo. Jane Berglan ha estado experimentando con la regla de Johnson; cree que la situación de Precision puede analizarse efectivamente utilizando esa técnica. La administración de Precision desea que ambos centros cambien a trabajos nuevos al mismo tiempo; en otras palabras, si el centro de trabajo 1 termina su trabajo en una tarea, debe esperar a que el centro de trabajo 2 finalice la tarea en que esté trabajando, de manera que ambos puedan empezar nuevas tareas simultáneamente. La razón de este requisito es que los supervisores puedan dar instrucciones de trabajo sobre cómo realizar simultáneamente las tareas de ambos centros de trabajo.

Jane visita el centro de cómputo, observando que seis trabajos están en espera.

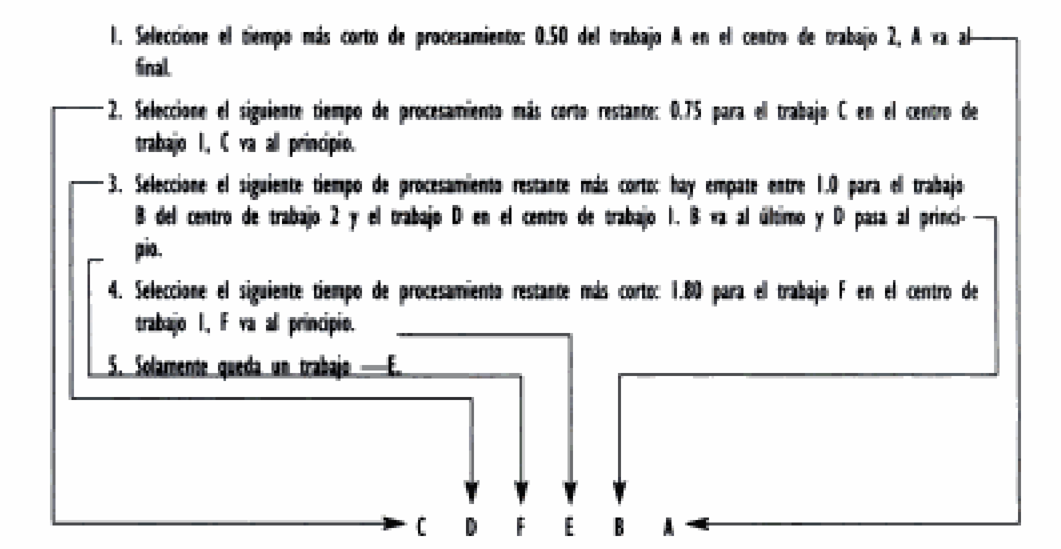
a. Se desarrollan estos datos para los seis trabajos:

	Tiempo estimado de procesamiento (horas)	
Tarea de computadora	**Centro de trabajo 1 maquinado**	**Centro de trabajo 2 acabado**
A	1.50	0.50
B	4.00	1.00
C	0.75	2.25
D	1.00	3.00
E	2.00	4.00
F	1.80	2.20

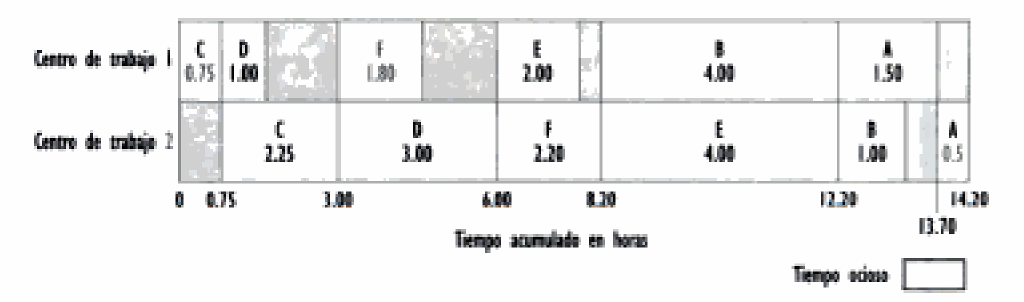
b. La regla de Johnson es:

1. Seleccione el tiempo de procesamiento más corto en ambos centros de trabajo.
2. Si el tiempo más corto corresponde al primer centro de trabajo, ejecute el primer trabajo del programa. Si aparece en el segundo centro de trabajo, ejecute el último trabajo del programa.
3. Elimine el trabajo asignado en el paso 2.
4. Repita los pasos 1, 2 y 3 llenando el programa de la parte de adelante y de la parte de atrás, hasta que todos los trabajos hayan sido asignados en alguna posición del programa.

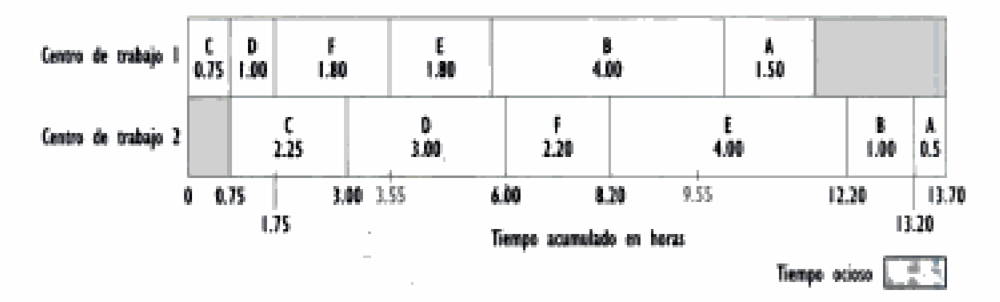
Jane empieza entonces a seguir los pasos de la regla:



c. Esta secuencia de trabajo CDFEBA se estudia posteriormente desarrollando el tiempo acumulado para hacer los seis trabajos en ambos centros de trabajo. Jane sabe que la administración de Precision desea que los trabajos empiecen al mismo tiempo en ambos centros.



d. Jane puede ver que la secuencia de trabajo CDFEBA permite a ambos centros hacer todos los trabajos en 14.0 horas. Se pregunta cuánto tiempo acumulado podría reducirse si la administración de Precision pasara por alto el requisito de que todas las tareas se han de iniciar al mismo tiempo en ambos centros de trabajo.



e. Cuando las tareas no necesitan iniciarse al mismo tiempo en ambos centros de trabajo, el tiempo acumulado es de 13.70.

f. Jane utilizará este ejemplo para demostrar a la administración de Precision la aplicación de la regla de Johnson.

Observe en el ejemplo 12.4 que si existe empate para el tiempo más corto de procesamiento en diferentes centros de trabajo, no hay dificultad alguna en determinar la secuencia de trabajo. Sin embargo, si ocurre empate en el mismo centro de trabajo, será necesario evaluar dos secuencias de trabajo al comparar sus tiempos acumulados de producción, como se hizo en la parte E del ejemplo. La secuencia de trabajo que tenga el menor tiempo acumulado será la recomendada. Observe también en el ejemplo que se puede utilizar la regla de Johnson con o sin el requisito de que los cambios de trabajo tienen que ocurrir simultáneamente en ambos centros de trabajo.

Secuencia de n *trabajos a través de* m *centros de trabajo* Los talleres artesanales normalmente deben poner en secuencia muchas tareas a través de muchos centros de trabajo, problema para el que no existen soluciones analíticas fáciles. No obstante, los gerentes de operaciones y los programadores toman cotidianamente este tipo de decisiones de secuenciamiento. ¿Cómo se las ingenian para tomar estas decisiones complejas? Por lo común, una regla de secuencia como el tiempo más corto de procesamiento, la relación crítica o la fecha más temprana de vencimiento se puede aplicar de manera uniforme. La secuencia de trabajo se modifica después, para aprovechar economías en los cambios. Si algunos trabajos están particularmente retrasados, las economías en los cambios deben sacrificarse para cumplir con los compromisos de fecha de entrega de los clientes. Dado que, de manera creciente, las decisiones de secuencia forman parte integral de los sistemas computarizados de programación, los procedimientos de secuencia deben quedar formalizados y programados en las computadoras.

La investigación sigue explorando métodos matemáticos para soluciones óptimas de problemas complejos de secuencia. La teoría de filas, la simulación por computadora y los algoritmos de búsqueda por computadora se han utilizado para estudiar los problemas de secuencia.

PROBLEMAS DE ASIGNACIÓN

Cuando es necesario asignar a centros de trabajo o a máquinas, dentro de dichos centros, muchos trabajos que llegan a los talleres artesanales, la determinación sobre cuáles trabajos deben asignarse a cuales centros o a cuales máquinas forma parte importante de la programación. Estos problemas se conocen comúnmente como **problemas de asignación.**

En el apéndice C se analizan y se demuestran, en el ejemplo C.7, métodos de asignación de la programación lineal. En dicho ejemplo, en Mercury Electric Company se asignan cinco trabajos a cinco centros de trabajo de reembobinado. Cuando deben asignarse n trabajos a n centros de trabajo en una sola etapa de producción, como en el paso de reembobinado de Mercury Electric, entonces el método de asignación es una técnica apropiada para analizar el problema. Sin embargo, el método de asignación resulta impráctico cuando se deben asignar n trabajos a m centros de trabajo en dos o más etapas, corriente abajo, de la producción.

Con esto concluye nuestro análisis de la planeación y control de piso de taller de los talleres artesanales. Ocupémonos ahora del estudio de la planeación de piso de taller en fábricas enfocadas al producto.

PROGRAMACIÓN DE MANUFACTURA ENFOCADA AL PRODUCTO

Hay dos tipos generales de producción enfocada al producto: por lotes y continua. Dado que los productos siguen caminos lineales directos, **la producción en lotes** a menudo también se llama **taller de flujo**. En un mismo sistema de producción se producen grandes lotes de varios productos estándar. Dado que los productos se producen en lotes, al pasar a producir un producto diferente el sistema de producción debe cambiarse. Muchos fabricantes de productos discretos utilizan este tipo de producción. En la **producción continua**, unos cuantos productos estándar muy especializados se producen continuamente, en volúmenes muy grandes y los cambios son muy raros. Los productos pueden ser discretos, como artículos de plástico moldeado, o continuos, como gasolina. La tabla 12.2 enlista algunas características de la manufactura enfocada al producto y de sus implicaciones para la programación.

A continuación, presentamos las decisiones de programación más comunes para este tipo de fábricas:

1. Si los productos se fabrican en lotes y en la misma línea de producción se producen varios productos, ¿de qué tamaño deberá ser el lote de producción para cada producto y cuándo deberán programarse los cambios en las máquinas?

TABLA 12.2 MANUFACTURA ENFOCADA AL PRODUCTO: CARACTERÍSTICAS Y SUS IMPLICACIONES DE PROGRAMACIÓN

Características	Implicaciones de programación
Los productos son diseños estándar. Los componentes y materias primas, los pasos necesarios de proceso y la secuencia de operaciones son conocidos.	Es necesaria poca planeación de preproducción, en relación con las rutas de productos, instrucciones de los trabajos, planes de proceso y diseños del producto.
Los productos pueden producirse para inventario, en vez de sobre pedido de cliente.	Los programas pueden basarse en lotes económicos de producción para productos que no tengan presión de entrega de los clientes.
Los pasos de la producción están acoplados entre sí en disposiciones físicas del producto.	La producción está programada de una manera muy similar a un oleoducto, concentrándose en programas de entrada de materias primas (MRP) y en programas de salida (MPS)
El ritmo de la producción es superior a la tasa de la demanda de los productos.	Las preocupaciones predominantes en programación son de sincronización de cambios en las máquinas de la línea de producción y del tamaño de los lotes de producción.
Dado que las operaciones están acopladas entre sí, los retrasos en el suministro de los materiales, la ruptura de equipo, el desperdicio y otros factores, que pueden causar que la operación quede ociosa, también hacen que las operaciones corriente abajo se detengan.	Los programas de producción deben tener factores de seguridad incorporados para permitir tiempo ocioso periódico, deben existir programas de mantenimiento preventivo y tener programas de control de calidad efectivos.
La naturaleza de tipo oleoducto de la línea de producción resulta en que los materiales, una vez dentro de la línea, fluyan continuamente de una operación a la otra, hasta que se emiten al final.	El control de la producción quizá no deba mantener registros complejos de movimientos de materiales en proceso ni autorizar el movimiento de materiales en proceso o de alguna otra forma de planear la sincronización del movimiento de los materiales en proceso a lo largo de la línea. Las actividades clave de actualización de la planeación y del movimiento de los materiales se refieren a suministrar materiales a la línea y retirar unidades terminadas de la línea.

2. Si los productos se producen según un programa de entregas específico, en cualquier momento, ¿cuántos productos deberán haber pasado por cada una de las operaciones de producción corriente arriba, si las entregas futuras deben cumplir el programa?

Ahora desarrollaremos algunas técnicas para ayudar a los gerentes a resolver estos problemas en relación con programación: la programación por lotes, y la programación y el control de la producción para programas de entrega.

PROGRAMACIÓN POR LOTES

El tamaño es un problema clave en sistemas enfocados al producto que fabrica por lotes. Aquí se analizarán dos procedimientos relacionados con este problema: el EOQ para lotes de producción y el método de agotamiento.

EOQ para lotes de producción En el capítulo 10 analizamos el concepto de cantidad económica de pedido (EOQ) para lotes de producción. Imagínese usted en un departamento de producción viendo hacia el almacén de productos terminados. ¿Cuántas unidades de producto debemos incluir en cada lote de producción para minimizar el costo de almacenar y el costo de pedir anuales del inventario (incluyendo costos de cambios en las máquinas de la producción)? El problema del tamaño del lote de producción se resuelve mediante la fórmula siguiente:

$$EOQ = \sqrt{(2DS/C)[p/(p-d)]}$$

La tabla 10.3 del capítulo 10 contiene las hipótesis, las definiciones de las variables y las deducciones de las fórmulas. Cuando usamos esta fórmula para determinar la cantidad de productos a elaborar en un lote, los gerentes pueden estar seguros de que el costo anual de almacenar inventarios en proceso es igual al costo anual de poner a punto las máquinas para operar los lotes. Aunque esto es atractivo, este procedimiento para establecer el tamaño de los lotes no toma en consideración la capacidad de producción.

Método de agotamiento La fórmula EOQ analizada arriba es utilizada para determinar el tamaño de un lote de producción para un producto único. Como una técnica completa para la programación de lotes, el EOQ no es totalmente satisfactorio porque omite tomar en consideración los siguientes hechos:

1. Sólo existe cierta capacidad de producción todas las semanas y los productos comparten la misma capacidad escasa de producción. El tamaño de los lotes de producción, por lo tanto, deberá determinarse simultáneamente para todos los productos, dentro de las limitantes de capacidad de cada una de las semanas.
2. Las decisiones sobre tamaño de lotes de producción deben basarse en información más actualizada respecto a tasas de la demanda y ritmos de producción, y no en estimaciones *a grosso modo* anuales como se hacen en EOQ.

Estas deficiencias en el EOQ de la planeación del tamaño de los lotes de producción han llevado al desarrollo del **método de agotamiento** en operaciones de producción limitadas por su capacidad, cuando se producen varios lotes de productos en una misma línea de producción. *Este método intenta utilizar la capacidad total de producción disponible en cada periodo para producir justo lo suficiente de cada producto, de manera que si toda la producción se detiene, el inventario de productos terminados de cada uno de los productos se agote al mismo tiempo.*

El ejemplo 12.5 utiliza el método de agotamiento para desarrollar un programa de producción para cinco productos en una empresa que hace masilla para madera. Note en este ejemplo que el método de agotamiento es deficiente en un aspecto: no intenta establecer tamaños de lote de producción económicos para los productos. Sin embargo, el método de agotamiento supera la debilidad principal de EOQ como método para determinar el tamaño de los lotes de producción: reconoce que los productos comparten la capacidad de producción y asigna capacidad disponible entre productos. Este ejemplo, la totalidad de las 1,600 horas de tiempo de extrusión por semana se han asignado entre los cinco productos, de manera que, si realmente ocurre la demanda semanal pronosticada, la empresa se quedaría sin cada uno de los cinco productos en exactamente el mismo momento.

EJEMPLO 12.5

MÉTODO DE AGOTAMIENTO DE LA PRODUCCIÓN

Rock-Hard Wood Putty Company está planeando su producción para la semana que viene. Todos los productos de masilla para madera en Rock-Hard deben procesarse a través de 20 extrusoras mezcladoras en su planta de Peoria, Illinois. Rock-Hard tiene disponibles un total de 1,600 horas extrusoras semanales de capacidad de producción, con base en su plan de capacidad agregado de seis meses. El departamento de programación de Rock-Hard está revisando los niveles de inventario, las horas máquina requeridas para mil libras y el uso pronosticado de sus cinco productos principales. Desarrolle un programa de producción para las extrusoras utilizando el método de agotamiento.

SOLUCIÓN

1. Primero convierta el inventario a la mano y los pronósticos a horas extrusora:

Para asegurarse que las entregas reales de productos a los clientes cumplan con el programa planeado de entregas, se puede utilizar un sistema de línea de balance (LOB) para programar y controlar los pasos de la producción.



realizar alguna acción correctiva, una vez que las entregas se hayan retrasado, porque el oleoducto de producción quizás se ha secado. En estos casos, se ha utilizado la **línea de balance** (**LOB**, por sus siglas en ingles) para programar y controlar los pasos de producción corriente arriba. El ejemplo 12.6 ilustra la forma en que una empresa utiliza el análisis LOB para establecer y controlar un plan de entregas a un cliente.

EJEMPLO 12.6

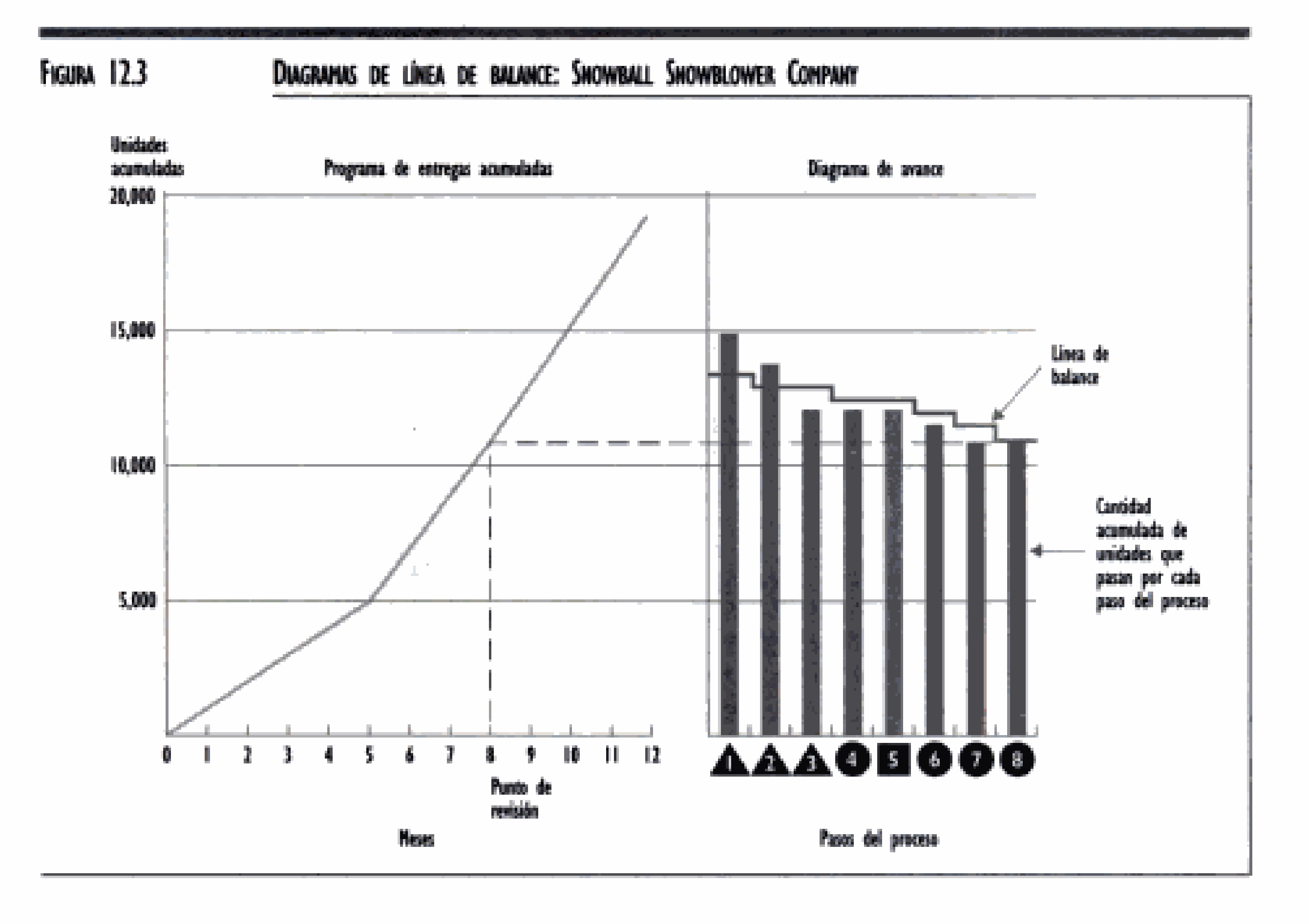
LÍNEA DE BALANCE (LOB) EN SNOWBALL SNOWBLOWER COMPANY

Snowball Snowblower Company produce barredoras de nieve tipo tractor en su planta de manufactura. Snowball acaba de firmar un contrato para vender toda su producción a una de las cadenas gigantes de ventas al menudeo. Una de las estipulaciones del contrato fue un estricto programa de entregas:

Mes	Unidades a entregar	Mes	Unidades a entregar	Mes	Unidades a entregar
Enero	1,000	Mayo	1,000	Septiembre	2,000
Febrero	1,000	Junio	2,000	Octubre	2,000
Marzo	1,000	Julio	2,000	Noviembre	2,000
Abril	1,000	Agosto	2,000	Diciembre	2,000

Los pasos de procesamiento de la producción, sus relaciones y los plazos de entrega aparecen en el siguiente diagrama de flujo:

FIGURA 12.3 DIAGRAMAS DE LÍNEA DE BALANCE: SNOWBALL SNOWBLOWER COMPANY



Esta evaluación sugiere que la administración debe tomar de inmediato pasos correctivos para acelerar la adquisición de motores, su prueba y los pasos de procesamiento subcontratado de terminado de carrocería. Las entregas quedarán cortas en 500 unidades durante el siguiente periodo de revisión (un cuarto de mes). A menos que se hagan progresos para acelerar △ y 5, se pueden esperar violaciones más serias en los periodos subsecuentes.

Periódicamente se dibujará una nueva línea de balance en el diagrama de avance y las barras verticales se extenderán para reflejar las unidades adicionales que hayan transmitido por cada paso de la producción desde la última revisión, por lo que se tomará una evaluación instantánea de cada paso de producción a intervalos periódicos. Estas evaluaciones dan a los gerentes de operación información sobre el desempeño de cada uno de los pasos en relación con el programa. Está información se conoce antes de que las dificultades de producción puedan afectar los programas de entrega. Por lo tanto, se pueden efectuar acciones correctivas para evitar entregas retrasadas. LOB logra mayor beneficio cuando se fabrican productos y servicios para programas de entrega específicos, que cuando la producción incluye muchos pasos o cuando los plazos de entrega de la producción son largos.

Los paquetes de computadora para la programación están aumentando, tanto en su número como en su frecuencia de aplicación en los sistemas actuales de producción.

SISTEMAS DE PROGRAMACIÓN COMPUTARIZADOS

Hay disponibles paquetes de software para ayudar a las empresas a desarrollar programas detallados para centros de trabajo y programas macro que ayudan a coordinar todas las tareas o trabajos. Cada vez más, estos programas forman parte integral de sistemas de software de planeación mayores, que



Los sistemas de programación computarizados ayudan a los gerentes a vigilar el desempeño de la producción. En la fotografía, está bajo vigilancia un cuarto de control de la laminadora en caliente de Nippon Steel.



abarcan toda la manufactura, como *WinMagi* (**www.magimfg.com**) y *Macola* (**www.macola.com**), o incluso sistemas mayores de planeación de recursos de toda la empresa (ERP). Tres ejemplos populares de estos sistemas software integrados son *R/3* de *SAP* (**www.sap.com**), *Baan* (**www.baan.com**), y *Peoplesoft* (**www.peoplesoft.com**). No se puede negar que estos paquetes de computadora sean atractivos, pero no crea, simplemente porque los programas ya se hicieron y no tienen problemas, que rápida y fácilmente se pueden adaptar a cualquier sistema en particular. Muchas empresas han llegado a la conclusión, muy a su pesar, de que a menudo toma años implementar con efectividad los sistemas de información.



Otros paquetes de computadora menos ambiciosos están diseñados principalmente para poder efectuar una programación o tener información de control de piso de taller. Uno de estos paquetes fue descrito en la Instantánea industrial 12.1. Otro ejemplo es *OrderLinks* (**www.pritsker.com**), vendido por la división Advanced Planning & Scheduling (APS) de Symix (antes Pritsker Corp.). Independientemente del alcance de estos paquetes, la porción de programación de los programas debe efectuar, por lo general, las siguientes funciones:

1. Desarrollar para los centros de trabajo programas detallados diarios, que den los tiempos de inicio y terminación de cada orden.
2. Desarrollar programas detallados departamentales diarios y semanales, utilizados para coordinar centros de trabajo.
3. Generar programas modificados conforme se presenten nuevos clientes o se tenga nueva información del avance de los centros de trabajo.

Antes de que se puedan utilizar estos programas, deben desarrollarse en las instalaciones reglas de prioridades para determinar la secuencia de los trabajos en los centros de trabajo, el conjunto necesario de reglas para determinar cuáles serán los trabajos que se asignarán a cada centro de trabajo y un sistema de seguimiento y retroalimentación para modificar programas. Estas no son tareas sencillas. Cuando se instalan sistemas de cómputo, los gerentes no pueden tomar a la ligera sus decisiones de programación. Una de las quejas más comunes de los programadores es que los gerentes aparentemente siempre están cambiando reglas para salvarlos de la última llamada telefónica de los clientes. Los programadores parecen quedar entre los cambios de órdenes provenientes de

INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 12.3

OPT: La solución lógica

OPT 21 aplica un procedimiento simple, pero extremadamente poderoso, para la programación de un negocio. Primero, el proceso se programa para producir al ritmo de las limitantes o restricciones principales, ya sean éstas fijas o móviles. Este programa es el "tambor" que pone el ritmo al cual todo el proceso producirá a lo largo del tiempo (fig. 12.4).

A continuación, las restricciones quedan protegidas de los problemas inevitables corriente arriba, causados por fluctuaciones estadísticas, al crear amortiguadores temporales (no amortiguadores de inventarios) frente a ellos. El desempeño del plazo de entrega queda protegido por amortiguadores en los puntos clave del ensamble para asegurar un flujo suave más allá de las restricciones.

Por último, todos los recursos no limitantes se sincronizan a un ritmo al que las restricciones pueden producir, como si fuera un "cable" enlazándose con la restricción, abriendo y cerrando la operación de compuerta.

Esta idea "tambor, amortiguador y cable" es la idea central del mecanismo de planeación y programación de OPT 21 y se puede aplicar de manera global a cualquier número de instalaciones vinculadas. De esta manera, pueden sincronizarse las restricciones inherentes a una organización multiplanta y su cadena de suministro.

Fuente: reproducido, con permiso, del folleto de información del software OPT 21. Scheduling Technology Group Ltd., Hounslow, Reino Unido.

FIGURA 12.4 MANUFACTURA SINCRÓNICA A LA MANERA DE "TAMBOR, AMORTIGUADOR Y CABLE"

2. Dado el siguiente informe de entradas salidas al final de la semana 4:
   a. ¿Qué dificultades de producción indica este informe?
   b. ¿Qué acciones correctivas recomendaría usted?

	Semana				
	−1	1	2	3	4
Entradas planeadas (horas mano de obra)		100	50	20	100
Entradas reales (horas mano de obra)		150	75	30	120
Desviación acumulada		50	75	85	105
Salidas planeadas (horas mano de obra)		100	50	20	100
Salidas reales (horas mano de obra)		90	50	15	100
Desviación acumulada		−10	−10	−15	−15
WIP Terminación planeada (horas mano de obra)		20	30	20	20
WIP Terminación real (horas mano de obra)	70	130	155	170	190

3. La máquina de Bill se dedica a maquinado sobre pedido con base en ocho horas diarias, cinco días a la semana. Ahora está preparando un programa de producción para la semana entrante. A continuación se muestran los trabajos, tiempos estimados de producción, tiempos de cambios estimados y avance al miércoles a las 12.00 horas:

Centro de trabajo	Tiempo de producción de trabajo (horas)					Tiempo de cambios en las máquinas (horas)	Avance al miércoles (horas de adelanto o atraso)
	A	B	C	D	E		
Torno	—	—	16	16	10	2	—
Fresado	—	12	10	16	8	1	(1)
Tratamiento térmico	8	8	8	8	8	3	1
Terminado	8	8	8	8	8	1	8

La empresa acaba de volver de una semana de vacaciones; por lo tanto, los centros de trabajo irán arrancando como se vayan necesitando. Los trabajos serán secuenciados en este orden A-B-C-D-E. Prepare una diagrama de Gantt, para la empresa, que despliegue los programas de la semana para los centros de trabajo.

4. Un fabricante electrónico produce ensambles con base en productos sobre pedido para otros fabricantes. La planta ahora ha aceptado pedidos de clientes para la siguiente semana de trabajo, de lunes a viernes, ocho horas diarias. En la tabla siguiente aparecen los pedidos de los clientes, los tiempos estimados de producción, los tiempos estimados de cambios de máquina y el avance al miércoles a las 5.00 PM:

Centro de trabajo	Número de pedidos y tiempo de producción de trabajo (horas)				Tiempo de cambios (horas)	Avance del miércoles (horas de adelanto o atraso)
	14	98	55	49		
Inspección	4	4	6	4	1	—
Fabricación	8	8	12	8	2	2
Ensamble	8	12	8	12	2	(4)
Empaque	4	2	4	2	2	—

Los pedidos se producirán en esta secuencia: 14, 98, 55 y 49. Prepare una diagrama de Gantt, para una semana de trabajo, que muestre la manera en que están coordinados los centros de trabajo.

5. Seis trabajos están esperando su procesamiento en una estación de trabajo. En la tabla que sigue están dados sus números de código de trabajo, los tiempos estimados de producción y los tiempos prometidos de entrega:

Número de código de trabajo	Tiempo de producción (horas)	Tiempo para la fecha de entrega prometida (horas)
161	3.8	6.0
162	2.1	3.0
163	4.5	14.0
164	3.0	10.0
165	4.2	20.0
166	2.9	19.0

Determine la secuencia de producción de los trabajos utilizando las reglas siguientes:

a. Regla del tiempo más corto de procesamiento
b. Regla de la holgura mínima
c. Regla de la relación crítica

6. Siete trabajos están esperando su procesamiento en una estación de trabajo. A continuación aparecen sus números de código de trabajo, los tiempo estimados de producción y los tiempos prometidos de entrega:

Número de código de trabajo	Tiempo de producción (horas)	Tiempo para la fecha de entrega prometida (horas)
241	2.4	31.0
242	3.7	12.0
243	5.2	19.0
244	3.3	14.0
245	5.6	10.0
246	6.1	27.0
247	4.0	24.0

Determine la secuencia de producción de los trabajos utilizando las reglas siguientes:

a. Regla del tiempo más corto de procesamiento
b. La regla de la holgura mínima
c. La regla de la relación crítica

7. Una empresa hace tratamientos térmicos para los clientes industriales con base en primera llegada, primer servicio, pero se pregunta si el tiempo de procesamiento más corto sería lo mejor. Los trabajos que ahora están en espera aparecen listados en el orden en el que llegaron, con sus tiempos estimados de producción, el tiempo para la entrega prometida y los cálculos necesarios.

Trabajo	Tiempo estimado de producción (días)	Secuencia de trabajo	Tiempo de flujo (días)	Secuencia de trabajo	Tiempo de flujo (días)
A	2	1	2	2	3
B	1	2	3	1	1
C	5	3	8	4	12
D	4	4	12	3	7

a. Clasifique las dos reglas de secuencia con base en dos criterios de evaluación: tiempo promedio de flujo y cantidad promedio de trabajos en el sistema.
b. ¿Qué regla de secuencia recomendaría usted? ¿Por qué?

8. Un planeador de producción debe decidir la secuencia para producir cuatro pedidos de clientes.

Pedido del cliente	Tiempo estimado de producción (días)	Tiempo para la fecha de entrega prometida (días)	Secuencia de orden primera llegada primer servicio	Tiempo de flujo (días)	Retrasos (días)
A	10	15	1	10	0
B	21	30	2	31	1
C	26	60	3	57	0
D	19	77	4	76	1

Clasifique las reglas de primera llegada, primer servicio, tiempo más corto de procesamiento y relaciones críticas con base en tres criterios de evaluación: tiempo promedio de flujo, cantidad promedio de trabajos en el sistema y retraso promedio del trabajo.

9. Una empresa efectúa tratamientos térmicos (templado, cementado, templado en agua, templado en aceite, etc.) para sus clientes. Cada trabajo, por lo general, requiere una puesta en marcha diferente, y estos cambios tienen costos diferentes. Hoy, la empresa debe decidir la secuencia de cinco trabajos para minimizar costos de cambio. A continuación aparecen los costos de cambio de un trabajo a otro:

		Trabajos antecedentes				
		A	B	C	D	E
Trabajos subsecuentes	A	—	$75	$90	$60	$42
	B	$85	—	79	97	45
	C	62	91	—	87	75
	D	95	85	55	—	65
	E	55	85	65	95	—

a. Utilice esta regla para desarrollar una secuencia de trabajo: primero, seleccione el costo de cambio más bajo entre todos los cambios; esto establece cuáles son los trabajos primero y segundo. El siguiente trabajo que se seleccionará tendrá el costo de cambio más bajo entre todos los trabajos restantes que siguen al trabajo antes seleccionado.
b. ¿Cuál es el costo total de cambios para los cinco trabajos?

10. El planeador de producción del problema 8 está volviendo a estudiar los cuatro pedidos de clientes. Parecería que la secuencia en la cual se producen los pedidos afecta a los costos de arranque. Se han desarrollado las siguientes estimaciones de costos de arranque:

Pedido subsecuente	Pedido antecedente A	B	C	D
A	—	$4,290	$1,800	$3,500
B	$3,500	—	2,900	2,600
C	4,450	3,960	—	2,900
D	5,400	1,970	1,900	—

a. Utilice esta regla para desarrollar una secuencia de trabajo: primero, seleccione el costo más bajo de arranque entre todos los arranques; esto definirá los pedidos primero y segundo; el pedido siguiente a seleccionarse tendrá el costo más bajo de arranque entre todos los pedidos restantes que siguen a los pedidos previamente seleccionados.
b. ¿Cuál es el costo total de arranque para las cuatro órdenes?

14. Cinco trabajos deben quedar asignados a cinco centros de trabajo. Los códigos de trabajo y las utilidades en dólares para los trabajos en los centros de trabajo se dan a continuación:

Código de Trabajo	Centro de trabajo 1	2	3	4	5
A	270	280	310	340	290
B	320	380	290	300	330
C	390	360	290	370	310
D	350	370	330	340	360
E	290	350	320	330	300

a. Utilice el programa de asignación LP en *POM Computer Library* para determinar la asignación que maximice las utilidades totales para la producción de los cinco trabajos.
b. Interprete completamente el significado de la solución. ¿Cuánta utilidad total proporcionará la solución para los cinco trabajos?
c. ¿Qué factores deberán considerarse al realizar esta asignación?

15. Un fabricante produce varios ensambles electrónicos con base en productos para existencias. La demanda anual, los costos de arranque o de pedir, los costos de almacenar, las tasas de la demanda y el ritmo de producción para los ensambles se dan a continuación:

Ensamble	Demanda anual (000 unidades)	Costo de puesta en marcha o de pedir (dólares/lote)	Costo de almacenar (dólares/ unidad/año)	Tasa de la demanda (unidades/día)	Ritmo de producción (unidades/día)
A	10	$1,500	$ 8	100	300
B	12	900	6	300	500
C	8	2,000	10	100	200
D	5	1,200	5	200	400

a. Utilizando el EOQ, calcule el tamaño del lote de producción para cada ensamble.
b. ¿Qué porcentaje de lote de ensambles A se está utilizando durante la producción?
c. Para el ensamble A, ¿cuánto tiempo pasará de una corrida de producción a otra?

16. Bell Computer Company produce cinco modelos de computadoras de escritorio. A continuación se presenta la demanda anual, los costos de puesta en marcha o de pedir, los costos de almacenar, las tasas de la demanda y los ritmos de producción para el ensamble final de las computadoras:

Modelo de computadora	Demanda anual (computadora)	Coto de puesta en marcha o de pedir (dólares/lote)	Costo de almacenar (dólares/ computadora/año)	Tasa de la demanda (computadoras/ día)	Ritmo de producción (computadoras/ día)
PC1	25,000	$5,000	$120.50	100	250
PC2	20,000	4,000	166.25	80	200
PC3	15,000	4,000	191.25	60	200
PC4	10,000	5,000	223.50	40	200
PC5	5,000	5,000	353.00	20	150

a. Utilizando el EOQ, calcule el tamaño del lote de producción para cada modelo de computadora.
b. Suponiendo que existen 300 días de trabajo por año y que el departamento de ensamble final produce solamente esos modelos de computadora, ¿qué porcentaje de la capacidad anual se requiere para el modelo PC1?

17. Bell Computer Company produce cinco modelos de computadoras de escritorio. Hoy es 15 de junio y Bell está planeando su programa del departamento de ensamble final para el trimestre del otoño (julio, agosto y septiembre). En la tabla que sigue aparecen el inventario a la mano, las horas de ensamble final requeridas por computadora y la demanda pronosticada:

(1) Modelo de computadora	(2) Inventario a la mano o en producción (computadoras)	(3) Tiempo de ensamble final requerido (horas/computadora)	(4) Demanda pronosticada para el trimestre del otoño (computadoras)
PC1	2,500	0.040	8,000
PC2	3,000	0.050	6,000
PC3	1,000	0.060	5,000
PC4	500	0.070	5,000
PC5	1,000	0.090	3,000

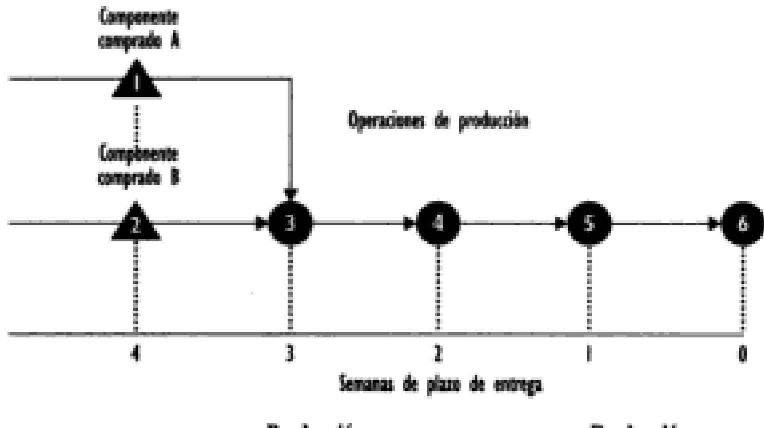
El pronóstico de la demanda para el trimestre del invierno es el mismo que el del trimestre de otoño. Si en cada trimestre están disponibles 1,400 horas de ensamble final, use el método de agotamiento para desarrollar un programa de producción de ensamble final para el trimestre de otoño.

18. Un fabricante debe desarrollar un programa de producción para marzo, que es el mes entrante, para la producción de ensambles electrónicos. Los ensambles electrónicos son diseños estándar que se producen para existencia. Se aplica la información siguiente:

Ensamble	Inventario a la mano (unidades)	Tiempo requerido para la soldadura por ola (horas/unidad)	Demanda pronosticada para marzo (unidades)	Demanda pronosticada para abril (unidades)
A	200	0.3	500	500
B	800	0.2	1,000	1,000
C	600	0.5	1,500	1,500
D	500	0.4	900	900

La operación de cuello de botella es la operación de soldadura. Si hay mil horas de soldadura disponibles por mes para producir estos ensambles, utilice el método de agotamiento para desarrollar un programa para marzo para la producción de estos ensambles.

19. Una empresa tiene un programa de entregas contratadas para sus productos. El programa de entregas exige que se entreguen todas las semanas 10,000 productos durante 30 semanas. El proceso de producción para los productos tiene los plazos de entrega que se muestran en la siguente ilustración. Después de diez semanas transcurridas en el programa de entregas, los registros de producción indican que las siguientes cantidades acumuladas han pasado por los pasos de producción:



Paso del proceso	Producción acumulada (productos)	Paso del proceso	Producción acumulada (productos)
1	120,000	4	120,000
2	150,000	5	115,000
3	120,000	6	105,000

a. Prepare un diagrama de programas de entregas acumuladas, un diagrama de avance y una línea de balance.
b. Evalúe las posibilidades de las entregas futuras. ¿Existe la posibilidad de alguna dificultad de entregas en el futuro?

CASOS

THE MATTEN TOY COMPANY

The Matten Toy Company produce cinco modelos de juguetes. La demanda anual, los costos de puesta en marcha o de pedir, los costos de almacenar, las tasas de la demanda y los ritmos de producción para los juguetes se presentan a continuación:

Juguete modelo	Demanda anual (juguete)	Costos de preparación o de pedir (dólares/lote)	Costo de almacenar (dólares/ juguete/año)	Tasa de la demanda (juguetes/día)	Ritmo de producción (juguetes/ día)
A	10,000	$1,000	$2.50	40	250
B	5,000	2,000	6.25	20	200
C	15,000	2,000	1.25	60	300
D	20,000	3,000	3.50	80	300
E	10,000	2,000	3.00	40	200

Hoy es 15 de junio, y Matten está planeando su programa del departamento de ensamble final para el tercer trimestre (julio, agosto y septiembre). A continuación aparecen el inventario a la mano, las horas de ensamble final requeridas por juguete y la demanda pronosticada:

(1) Juguete modelo	(2) Inventario a la mano o en producción (juguetes)	(3) Tiempo requerido de ensamble final (horas/juguete)	(4) Demanda pronosticada para el tercer trimestre (juguetes)
A	5,000	0.040	3,000
B	2,000	0.050	2,000
C	5,000	0.033	5,000
D	5,000	0.033	6,000
E	5,000	0.050	4,000

La demanda del trimestre invernal es, por lo general, aproximadamente la misma que la del tercer trimestre.

Tareas

1. Utilizando EOQ, calcule la producción del tamaño de lote para cada modelo de juguete.
2. Suponiendo que existen 300 días de trabajo anuales y que el departamento de ensamble final produce únicamente estos modelos de juguete, ¿qué porcentaje de la capacidad anual es requerida para el modelo A?
3. Si existen disponibles 300 horas de ensamble final en cada trimestre, utilice el método de agotamiento para desarrollar un programa de producción de ensamble final para el tercer trimestre.
4. ¿Cuáles son las ventajas del EOQ como una manera de calcular el tamaño de los lotes de producción, en este caso? ¿Cuáles son las desventajas?
5. ¿Cuáles son las ventajas del método de agotamiento, una manera de calcular, en este caso, el tamaño de los lotes de producción? ¿Cuáles son las desventajas?
6. ¿Qué procedimiento para la determinación del tamaño de lote, EOQ o el método de agotamiento, recomendaría usted para Matten Toy Company?

NOTA FINAL

Johnson, S. M. "Optimal Two-Stage and Three-Stage Production Schedules with Setup Times Included." *Naval Research Logistics Quarterly* 1 (marzo de 1954): 61–68.

BIBLIOGRAFÍA SELECCIONADA

Baker, K. R. "The Effects of Input Control in a Simple Scheduling Model." *Journal of Operations Management* 4, no. 2 (febrero de 1984): 99–112.

Clark, Wallace. *The Gantt Chart: A Working Tool of Management.* Nueva York: Ronald Press, 1922.

Day, James E., y Michael P. Hottenstein. "Review of Sequencing Research." *Naval Research Logistics Quarterly* 27 (marzo de 1970): 11–39.

Goldratt, Eliyahu M., y Jeff Cox. *The Goal: A Process of Ongoing Improvement,* 2ª. edición revisada. Croton-on-Hudson, Nueva York: North River Press, 1992.

Hadavi, K. Cyrus. "Why Do We Miss Delivery Dates?" *Industrial Management* 38, no. 5 (septiembre-octubre de 1996): 1–4.

Hershauer, James C., y Ronald J. Ebert. "Search and Simulation Selection of a Job-Shop Sequencing Rule." *Management Science* 21 (marzo de 1975): 833–843.

Hill, Sidney. "Revolution or Evolution?" *Manufacturing Systems* 15, no. 10 (octubre de 1997): R4–R9.

Johnson, S. M. "Optimal Two-Stage and Three-Stage Production Schedules with Setup Times Included." *Naval Research Logistics Quarterly* 1 (marzo de 1954): 61–68.

Melnyk, Steven. *Shop Floor Control.* Homewood, IL: Irwin Professional, 1985.

Oral, M., y J. L. Malouin. "Evaluation of the Shortest Processing Time Scheduling Rule with Functional Process." *AIIE Transactions* 5 (diciembre de 1973): 357–365.

Pinedo, Michael. *Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems.* Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1995.

Salegna, Gary. "Integrating the Planning and Scheduling Systems in a Job Shop." *Production & Inventory Management Journal* 37, no. 4 (1996): 1–7.

Schaap, Dave. "Scheduling Repetitive Production." *Manufacturing Systems* 15, no. 6 (junio de 1997): 46–50.

Silver, Edward A., David F. Pyke, y Rein Peterson. *Inventory Management and Production Planning and Scheduling.* Nueva York: John Wiley & Sons, 1997.

Taylor, Sam G., y Steven F. Bolander. "Process Flow Scheduling: Past, Present, and Future." *Production & Inventory Management Journal* 38, no. 2 (1997): 21–25.

Vollman, T. E. "OPT as an Enhancement to MRP II." *Production and Inventory Management* 27, no. 2 (segundo trimestre de 1986): 38–47.

Vollmann, Thomas E., William L. Berry, y D. Clay Whybark. *Manufacturing Planning and Control Systems,* 4ª edición. Nueva York: McGraw-Hill, 1997.

Capítulo 13

Planeación y programación de operaciones de servicio

Introducción

Repaso de la naturaleza de los servicios

Estrategias de operaciones para los servicios

Tipos de operaciones de servicio

Retos de programación en los servicios

Cómo tratar con una demanda no uniforme

Programación de operaciones de servicio de cuasi manufactura

Operaciones enfocadas al producto

Operaciones enfocadas a los procesos

Programación de turnos de trabajo en las operaciones de servicio

Programación de operación de servicio al cliente como participante

Naturaleza de estas operaciones

Líneas de espera en las operaciones de servicio

Características de las líneas de espera • Terminología y estructuras en los sistemas de filas • Cuatro modelos de filas y sus fórmulas • Evaluación del análisis de las filas de espera en la administración de la producción y de operaciones.

Programación de las operaciones de servicio al cliente como producto

Naturaleza de estas operaciones.

El uso de la simulación por computadora en las operaciones de servicio.

Características de los problemas de simulación por computadora • Procedimiento de la simulación por computadora • Evaluación de la simulación por computadora

Recopilación: Lo que hacen los productores de clase mundial

Preguntas de repaso y análisis

Tareas en Internet

Problemas

Casos

Precision Calibration Services Company

Computer Products Corporation Trucking Operations

Nota final

Bibliografía seleccionada



PROGRAMACIÓN DE PERSONAL EN TEXAS GROCERY

La tienda Texas Grocery está localizada en el noroeste de Houston, Texas, y emplea 235 personas para prestar un servicio de 24 horas a sus clientes. Se trata de un supermercado completo con departamentos que van desde pastelería hasta farmacia y artículos diversos. Hay asociados en el personal para la operación de las cajas registradoras en las salidas, para empacar comestibles, rellenar anaqueles, conducir montacargas en el almacén, contar el inventario, pedir existencias, entregar productos farmacéuticos, recibir a los clientes, transportar las compras de los clientes, para aseo, mantenimiento, departamentos de administración y contabilidad, trabajos en proyectos especiales, panadería y otras obligaciones.

La programación del personal para que trabaje turnos durante la semana se complica por dos factores principales: una demanda no uniforme y las preferencias de los empleados. El volumen del tráfico de los clientes no es uniforme; la demanda varía según el día de la semana, la hora del día e, incluso, el día del mes. Los días anteriores a las vacaciones son particularmente de gran movimiento. La demanda tiende a ser mucho mayor los viernes, sábados y domingos y muy baja los miércoles. Las horas alrededor de las 8 y las 16 horas tienden a ser las más pesadas entre la semana; los fines de semana a mitad de la mañana, cerca de la hora del almuerzo y a principios de la noche tienden a ser muy pesados.

La empresa tiene varias políticas que afectan a la programación de los turnos de personal. 1) Cada empleado tiene que trabajar cinco turnos de ocho horas todas las semanas. 2) Cada empleado tendrá cada semana dos días consecutivos libres. 3) Cada empleado deberá pasar mensualmente del turno de día al turno de tarde, y al turno de noche. 4) Se aceptarán las preferencias de los empleados para los turnos. Si hay conflictos, se utilizará la categoría de sueldo y la antigüedad para la asignación de los turnos preferidos.

Considerando la demanda no uniforme y las políticas de la empresa, el gerente de la tienda y su asistente deben desarrollar programas de turnos de trabajo para los 235 empleados para el mes entrante.

Este relato ilustra parte de la complejidad presente en la programación de las operaciones de servicio. En los capítulos anteriores estudiamos las operaciones de servicio junto con las de manufactura, conforme examinábamos diversos temas y decisiones en administración de la producción y de las operaciones. Escogimos este procedimiento porque se cree que es la mejor manera de comprender las similitudes y diferencias entre manufactura y servicio. En este capítulo, sin embargo, limitamos nuestro estudio a la planeación, programación y control de operaciones de servicio. Al enfocarnos únicamente a operaciones de servicio, logramos una más profunda comprensión de las propiedades únicas de la administración en las operaciones de servicio.

REPASO DE LA NATURALEZA DE LOS SERVICIOS

Antes de estudiar la planeación y control de las operaciones de servicio, resumamos algo de lo que hemos aprendido sobre ello para comprender mejor la naturaleza de la programación de estas operaciones diversas.

En la tabla 2.8 se resumió la naturaleza de los servicios y se compararon con la manufactura. Los servicios se describieron como operaciones con:

- Resultados intangibles que no pueden inventariarse.
- Contacto cercano con el cliente.
- Plazos de entregas cortos.
- Altos costos de mano de obra en relación con los costos de bienes de capital; esto es, son intensivos en el uso de la mano de obra.
- Calidad determinada subjetivamente.

El análisis de la tabla 2.8 hizo énfasis en que, en tanto el resumen es exacto para muchos servicios, muy a menudo la gran diversidad entre los servicios hace que ese trabajo sea confuso y, lo que es peor, puede llevar a malos entendidos en relación con los servicios. La tabla 13.1 enlista algunos de ellos.

TABLA 13.1 ALGUNOS MALOS ENTENDIDOS COMUNES SOBRE LOS SERVICIOS

- Son negocios vecinales de un solo propietario.
- Son negocios al detalle o de comida rápida.
- Son intensivos en mano de obra y requieren de poca inversión de capital.
- La automatización y las nuevas tecnologías no los afectan tanto, como a la manufactura.
- Los empleados dan vuelta a las hamburguesas, limpian las mesas o atienden a los clientes, y ganan un salario mínimo.
- Los empleados necesitan una personalidad amable y solamente requieren capacitación en ventas y relaciones interpersonales.
- Trabajan en ellos pocos ingenieros, científicos y otras personas científicamente capacitadas.
- El sector de servicio estadounidense es muy redituable y no ha experimentado la reducción y los despidos que ocurrieron en la manufactura en los años 90.

Algunas de las corporaciones más grandes de Estados Unidos son negocios de servicio. AT&T, Wal-Mart, Citicorp, State Farm, Prudential y Sears, Roebuck & Company, por nombrar unas cuantas, están clasificadas entre las primeras 20 empresas estadounidenses. Estas enormes compañías globales de acciones propiedad del público abarcan todo el espectro de los negocios de servicio: aerolíneas, banca, ventas al menudeo, cuidados a la salud, autotransportes, entretenimiento, seguros, bienes raíces, teléfonos, servicios públicos, etc. Las industrias de servicio exportan más de 150 mil millones de dólares de servicios anualmente, con un superávit anual comercial creciente de aproximadamente 50 mil millones de dólares. Bueno, usted ya capta la imagen: son grandes, globales, diversas y muchas de ellas emplean intensivamente bienes de capital y aplican extensamente la automatización y la alta tecnología. De hecho, la inversión de capital por empleado para trabajadores de oficina exce- de a la cifra para trabajadores de manufactura. Muchos empleados en los servicios tienen salarios muy altos y están técnicamente capacitados; más de la mitad de los empleados de servicio tienen puestos de oficina. Con tres y media veces más empleados que en la manufactura, el promedio de salarios por hora de los empleados de servicio es solamente 13% menor que en la manufactura. El salario por hora en las industrias del transporte y de los servicios públicos es de 13.42 dólares, en los negocios al mayoreo de 11.35 dólares y en los servicios a la salud de 11.28 dólares, en tanto que el salario por hora en la manufactura es de 11.40 dólares. La única excepción es en el menudeo, que representa 29% de los puestos de servicio; el ingreso por hora promedio de los trabajadores al menudeo es de sólo las dos terceras partes que en la manufactura.[1] La naturaleza de elevada tecnología de servicios empresariales tales como las comunicaciones, las aerolíneas y los servicios públicos, crea la necesidad de ingenieros, científicos y otros empleados técnicamente capacitados.

Algunos elementos que debemos recordar, cuando se piensa en los negocios de servicio son:

- Hay una enorme diversidad en los servicios.
- Los negocios de servicio pueden ser enormes, minúsculos o de cualquier tamaño intermedio, igual que en la manufactura.
- Hay más del doble de negocios de servicio que no son de menudeo, que los de menudeo.
- Aunque son importantes las capacidades de relaciones interpersonales en los servicios (y, por cierto, también en la manufactura), el hecho es que la capacitación técnica, las computadoras, la automatización y la tecnología tienen un papel importante en la mayoría de los servicios.
- La mayoría de los trabajadores en los servicios están bien pagados, en comparación con los de manufactura.
- Para su supervivencia y prosperidad, los negocios de servicio necesitan mejor planeación, control y administración para defenderse de la competencia.

No hay una línea precisa que separe a la manufactura de los servicios. El servicio a los clientes domina en algunos negocios de manufactura, y algunos negocios de servicio se comportan y administran igual que si fueran de manufactura. Todos los negocios, ya sean de manufactura o de servicio, tienen, por una parte, una mezcla de servicio al cliente y, por otra, de materiales, transporte, almacenamiento, tecnología y producción. Por lo tanto, la manufactura tiene mucho qué aprender de los servicios que sobresalen en la atención al cliente, y los servicios tienen mucho qué aprender de los fabricantes que sobresalen en la producción.

nes de servicio al cliente como participante y trastiendas que son operaciones de servicio de cuasi manufactura, e igual que los negocios de manufactura, pueden tener una operación enfocada al producto y otra enfocada al proceso funcionando juntas. Una o más de las clases de operaciones de servicio también puede encontrarse dentro de negocios de manufactura.

Es tan extendida la existencia de estas operaciones de servicio que puede ser muy importante aprender la mejor manera de planearlas y controlarlas.

RETOS DE PROGRAMACIÓN EN LOS SERVICIOS

Dos características predominantes de las operaciones de servicio hacen que la planeación y control de las actividades cotidianas sean un reto:

1. Las personas producen y entregan los servicios: hombres, mujeres, jóvenes, personas, trabajadores, empleados, personal o recursos humanos, cualquier término que usted desee utilizar.
2. El patrón de la demanda de los servicios no es uniforme.

Dado que la demanda de los servicios varía de una hora a la siguiente, de un día a otro y de una semana a la próxima durante todo el año, el reto clave es variar la capacidad de producción para satisfacer este patrón variable de demanda. En la mayoría de los negocios de servicio, la variación del tamaño de la fuerza de trabajo se convierte en la clave para cambiar rápidamente la capacidad de producción. Los gerentes de operaciones luchan por modificar el tamaño de la fuerza de trabajo para hacer frente a la demanda no uniforme, de manera que exista un equilibrio razonable entre los costos de la producción y la satisfacción de los clientes. Si están programados demasiados empleados para trabajar durante cualquier periodo, los costos serán demasiado elevados; si se programan muy pocos empleados, se deteriora la satisfacción del cliente.

Cómo tratar con una demanda no uniforme Dado que durante lapsos de demanda baja los servicios normalmente no pueden inventariarse para empleados en periodos de demanda pico, las operaciones de servicio han desarrollado otras tácticas para encarar una demanda no uniforme. Algunos de estos procedimientos son:

- Desarrollar acciones prioritarias que intentan uniformar la demanda.
- Utilizar tácticas que hacen más flexibles las operaciones de servicio, de manera que la capacidad de producción pueda rápidamente reducirse o incrementarse conforme varíe la demanda.
- Anticipar los patrones de la demanda y programar la cantidad de empleados, durante cada periodo, para cumplir la demanda esperada.
- Permitir la presencia de filas de espera cuando la demanda de los clientes exceda la capacidad de producción; con este procedimiento, las líneas de espera nivelan la demanda y permiten que la capacidad del sistema sea relativamente uniforme.

Se han utilizado varias tácticas para manipular la demanda y lograr hacerla más uniforme. Entre éstas se pueden mencionar los incentivos para periodos fuera de pico, los programas de citas y los programas fijos. Los incentivos para periodos fuera de pico se ofrecen para motivar a los clientes a trasladar su demanda de servicios de horas pico a horas no pico. Por ejemplo, las empresas telefónicas ofrecen tarifas reducidas para llamadas que se efectúan después de las horas de trabajo, durante la semana e incluso se aplican tarifas todavía más bajas durante los fines de semana. Los doctores, dentistas, abogados y profesores requieren que los clientes hagan citas anticipadas para sus servicios. Los clientes programan sus citas con el objetivo dual de reducir el tiempo de espera de los clientes y ayudar a que el servicio mantenga una capacidad de producción uniforme. Otras operaciones de servicio, como las aerolíneas, tienen programas de salidas fijas. Los clientes tienen que arreglar sus patrones de demanda para que se ajusten a los programas o no pueden volar en esa aerolínea. Todas estas tácticas para uniformar la demanda de los servicios sólo han tenido éxito parcial; la demanda es menos volátil, aunque sigue siendo no uniforme. Al final, todas estas operaciones de servicio deben diseñar formas de enfrentarse a una demanda no uniforme.

Existen diversas maneras de hacer más flexibles los sistemas de servicio, de manera que la capacidad de producción pueda incrementarse o reducirse rápidamente conforme varíe la demanda de

TABLA 13.2 **PROGRAMA MENSUAL DE ACTIVIDADES DEL DEPARTAMENTO DE BOMBEROS DE CALIFORNIA: JULIO**

			Estación 1		Estación 2		Estación 3		Estación 4		Estación 5	
Día	Comandante	Turno	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
DOMINGO 01	C2	B	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	FB
LUNES 02	C5	A	FM	FM	FM	FM	FM	FM	FM	FM	FM	FM
MARTES 03	C2	B	HM	HM	HM	HM	HM	HM	HM	HM	HM	HM
MIÉRCOLES 04	C3	C	PC	PC	PC	PC	PC	PC	PC	PC	PC	PC
JUEVES 05	C2	B	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP
VIERNES 06	C3	C	DS	DS	CD	CD	DS	DS	FP	FP	FP	FP
SÁBADO 07	C2	B	EM	EM	EM	EM	EM	EM	EM	EM	EM	FB
DOMINGO 08	C3	C	SD	SM	SD	SM	SD	SM	SD	SM	FB	SM
LUNES 09	C5	A	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP
MARTES 10	C3	C	FP	FP	DS	DS	CD	CD	DS	DS	CD	CD
MIÉRCOLES 11	C5	A	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM
JUEVES 12	C2	B	FP	FP	FP	FP	HM	HM	HM	HM	FP	FP
VIERNES 13	C5	A	SD	SD	HM	HM	SD	SD	CD	CD	SD	SD
SÁBADO 14	C2	B	PC	PC	PC	PC	PC	PC	PC	PC	PC	PC
DOMINGO 15	C5	A	CD	CD	SD	SD	CD	CD	SD	SD	FB	FB
LUNES 16	C2	B	PC	PC	PC	PC	PC	PC	PC	PC	PC	PC
MARTES 17	C3	C	HM	HM	FP	FP	HM	HM	HM	HM	DS	DS
MIÉRCOLES 18	C2	B	EM	EM	EM	EM	EM	EM	EM	EM	DS	DS
JUEVES 19	C3	C	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
VIERNES 20	C5	A	HM	HM	CD	CD	EM	EM	EM	EM	CD	CD
SÁBADO 21	C3	C	PC	PC	EM	EM	EM	EM	PC	PC	PC	PC
DOMINGO 22	C5	A	SD	SM	SD	SM	SD	SM	SD	SM	FB	SM
LUNES 23	C3	C	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP
MARTES 24	C5	A	CD	CD	FB	FB	CD	CD	HM	HM	HM	HM
MIÉRCOLES 25	C2	B	FP	FP	FP	FP	FP	CD	FP	CD	FP	FP
JUEVES 26	C5	A	FP	FP	FP	FP	HM	HM	HM	HM	FP	FP
VIERNES 27	C2	B	DS	DS	SD	SD	HM	HM	DS	DS	SD	SD
SÁBADO 28	C3	C	EM	EM	EM	EM	EM	EM	EM	EM	EM	EM
DOMINGO 29	C2	B	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	FB
LUNES 30	C3	C	CD	CD	CD	CD	CD	CD	CD	CD	CD	CD
MARTES 31	C2	B	SD	SD	DS	DS	DS	DS	SD	SD	SD	SD

AD—Obligaciones administrativas
CD—A discreción del capitán
DS—Capacitación de entrenamiento del sitio
FB—Capacitación y mantenimiento de la barca de bomberos
FH—Tomas de bomberos
HT—Pruebas de mangueras
PC—A discreción para el comandante de la brigada
PP—Planes pre incendio
RT—Capacitación de reserva
ST—Capacitación en simulador
AM—Mantenimiento de aparatos, mensual
CR—Capacitación, pruebas de certificación
EM—Mantenimiento de equipo
FP—Prevención contra incendios
HM—Mantenimiento, servicio a tomas de incendio
PH—Pintar con código de color las tomas de incendio
PI—Inspección antes de incendio
PT—Pruebas del bombero
SD—Simulacro de la estación
SM—Mantenimiento de la estación y las cercanías

cajas de papel, los productos, el pan para hamburguesa, la carne y otros materiales se adquieren, ordenan para su entrega e inventarían y, al mismo tiempo, se consideran costos y patrones de demanda, igual que en la manufactura. Rutinariamente se producen altos volúmenes de productos estandarizados con una base combinada de productos para existencia y productos según pedido. Los objetivos de la administración son idénticos a los de la manufactura: control de los costos de producción, calidad del producto y entrega rápida de los bienes físicos, además se puede medir y evaluar el progreso hacia el logro de estos objetivos de una manera objetiva, igual que en la manufactura. La preocupación principal de programación es tener la cantidad correcta de material y de personal para producir suficientes productos para llenar la muy variable demanda hora con hora de los clientes. En el capítulo 10, Sistemas de inventarios de demanda independiente, encaramos las políticas de pedir de este tipo de operaciones. Posteriormente, se analizará la programación del personal en turnos de trabajo.

Otras operaciones de servicio son operaciones de cuasi manufactura enfocadas al producto. Por ejemplo, piense en el proceso de emisión de pólizas de seguros de vida en las oficinas centrales de una aseguradora. La solicitud del cliente de una póliza de seguro de vida se pasa a través de varias estaciones de trabajo de empleados, donde se registra su pago, los pagos se capturan en el sistema de cómputo, se verifica el examen y el historial médico, las reaseguradoras aprueban la póliza, se prepara la póliza y finalmente se envía por correo. En comparación con el ejemplo de trastienda de McDonalds, esta operación de servicio de oficina involucra menos bienes físicos y más trabajo de personal de oficina. Pero la planeación, análisis, control, programación y administración de la operación es tan familiar para la manufactura, que la mayor parte de lo que hemos aprendido sobre manufactura también aquí es aplicable.

Operaciones enfocadas a los procesos

Así como la mayoría de las operaciones de manufactura son del tipo enfocado a los procesos, igual lo son la mayor parte de las operaciones de servicio de cuasi manufactura. Considere, por ejemplo, la empresa de servicio metalúrgico industrial que recibe los productos de los clientes y los somete a pruebas, tratamientos y procedimientos metalúrgicos. Están disponibles diversos procedimientos: cementado profundo, cementado superficial, recocido, liberación de esfuerzos, pruebas radiológicas, análisis de grietas superficiales, análisis metalúrgicos, etc. Cada pedido del cliente especifica la naturaleza del servicio que requiere; con base en ese pedido, el trabajo se encamina a los departamentos apropiados de la empresa, hasta su término. Entonces, los trabajos se empacan y embarcan de vuelta al cliente.

Las operaciones de servicio de cuasi manufactura enfocadas a los procesos son tan parecidas en este aspecto a los talleres artesanales que planean, controlan, analizan programas y administran igual que dichos talleres en la manufactura, ya que utilizan pronósticos para diseñar estratégicamente las operaciones para la capacidad de producción, flexibilidad, tecnología avanzada y calidad de los productos. Las decisiones sobre la disposición física de las instalaciones se basan en los procedimientos que se analizaron en el capítulo 8, Disposición física de las instalaciones: los principios de manejo de materiales y del equipo para ello, el uso de plantillas y de modelos físicos para el desarrollo de los planes de planta del edificio, el uso de la secuencia de operaciones, del análisis de secuencia de operaciones, el análisis carga distancia y el análisis de la disposición por computadora, son particularmente importantes.

Las decisiones de pedir se efectúan de acuerdo con los análisis del capítulo 10, Sistema de inventario de demanda independiente, y del capítulo 11, Sistema de planeación de requerimientos de recursos, y utilizan los mismos métodos de programación que se analizaron en el capítulo 12:

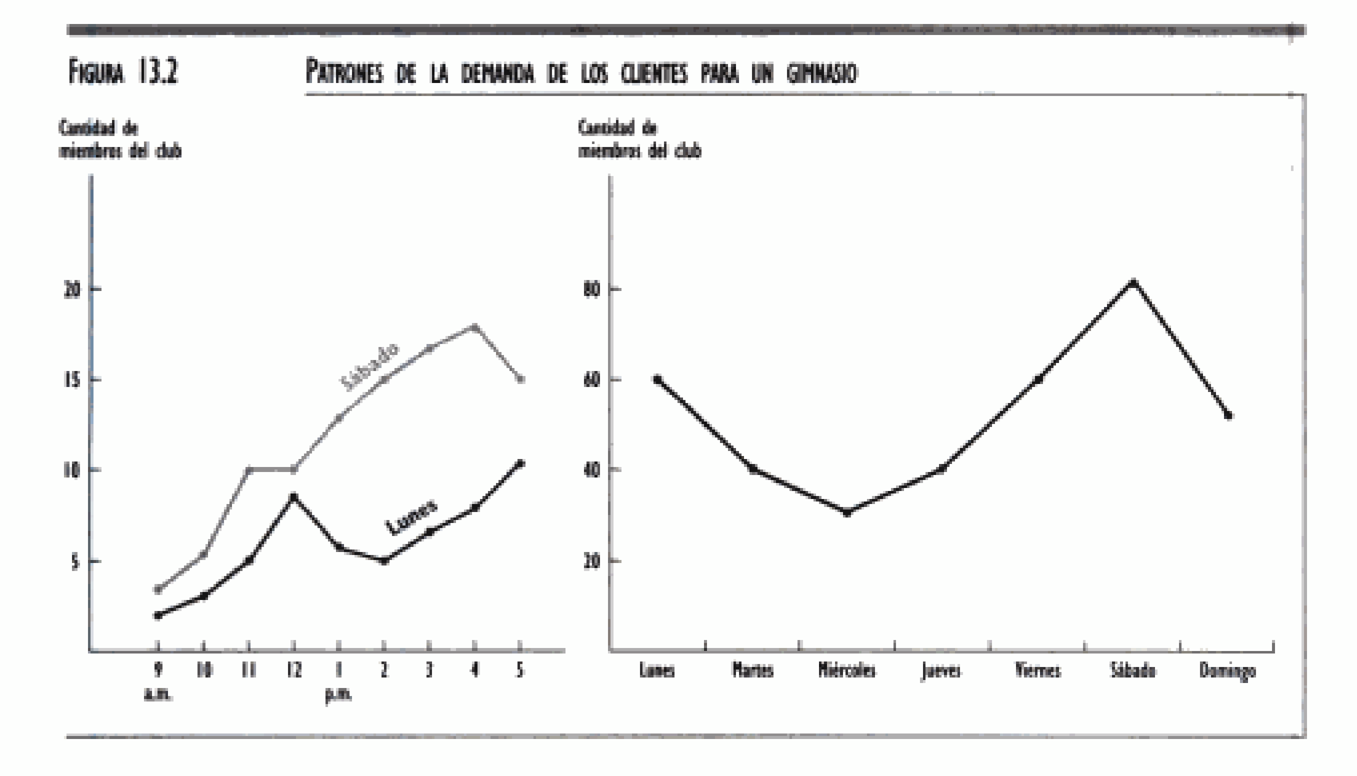
1. Es importante un control de entradas y salidas para equilibrar la capacidad entre operaciones. Esto se logra analizando los informes de entradas y salidas.
2. Se utilizan las gráficas de Gantt para coordinar los flujos de los trabajos dentro de y entre departamentos.
3. Al tomar en consideración las reglas de secuenciación, los costos de los cambios y los tiempos de flujo se logra una secuencia efectiva de los trabajos en los centros de trabajo.

Todas las operaciones de producción, ya sean de manufactura o de cualquier tipo de operación de servicio, deben programar el personal para que trabaje por turnos.

Programación de turnos de trabajo en las operaciones de servicio

Algo que todas las operaciones de servicio tienen en común es que el medio principal de efectuar los servicios es a través de personal. En los servicios se pueden encontrar tres dificultades para la programación del personal: la variabilidad de la demanda, la variabilidad del tiempo de servicio y la disponibilidad del personal cuando se necesite. Considere, por ejemplo, cuántos ayudantes programaría usted para que trabajen cada hora de cada día de la semana en un gimnasio. La figura 13.2 ilustra que la cantidad de miembros del gimnasio varía drásticamente tanto a lo largo del día como a lo largo de la semana y que el patrón de horarios de los miembros varía según los días de la semana. Si se requiere que los ayudantes auxilien a los miembros en sus ejercicios, los guíen en sus programas de entrena-

FIGURA 13.2 PATRONES DE LA DEMANDA DE LOS CLIENTES PARA UN GIMNASIO



miento, entreguen materiales y cumplan con otras obligaciones, la cantidad de ayudantes que se necesitan cada hora de la semana dependerá de los miembros presentes en el gimnasio.

Debido a los picos y valles en la demanda de los clientes, a menudo los gerentes de operaciones utilizan dos tácticas para desarrollar programas de trabajo para sus empleados. El primer procedimiento es el uso exclusivo de empleados de tiempo completo. En periodos de baja demanda, esta disposición generará un exceso de personal que resultará en tiempo ocioso de los empleados; en periodos de demanda elevada, personal insuficiente requerirá de tiempo extra para incrementar la capacidad. Estos periodos de exceso y de carencia de personal resultan de la incapacidad de los gerentes para desarrollar programas de trabajo que coincidan exactamente con la demanda anticipada de los clientes.

Este tipo de situaciones puede ocurrir cuando los empleados de tiempo completo desean programas de trabajo que se basen en cinco días consecutivos y en ocho horas consecutivas diarias.

Otro procedimiento para el desarrollo de programas de trabajo en los sistemas de servicios es formar una base utilizando algunos empleados de tiempo completo, y empleados de tiempo parcial adicionales para equipar al sistema durante periodos de demanda pico. Si es posible llamar a los empleados de tiempo parcial en un plazo breve, mucho mejor. Este procedimiento evita gran parte del excedente o carencia de personal planeada incluida en los programas de turnos de trabajo y los empleados de tiempo parcial evitan el uso de tiempo extraordinario y de filas de espera durante los periodos de demanda pico. Sin embargo, generalmente las empresas tienen una más elevada rotación de empleados de tiempo parcial, por lo que requiere más esfuerzo y gastos contratar y capacitar nuevos empleados.

En algunos servicios, el uso de programas por cita y otros esfuerzos por nivelar la demanda no son totalmente factibles; en algunos casos, incluso, pueden ser indeseables. Aunque sea cierto que nivelar la demanda simplifica la programación del personal, la naturaleza del servicio pudiera dictar qué parte de la demanda del cliente puede o no controlarse. En el ejemplo 13.1, el gimnasio analizado anteriormente se utiliza para ilustrar cómo pueden utilizarse los programas de citas para hacer que la demanda del cliente se ciña a patrones que ayuden a la programación de personal, incluso si el patrón de la demanda resultante no es totalmente uniforme. En este ejemplo, cambiamos la forma de la demanda del cliente a un patrón más administrable o manejable a través de programas de citas; después, determinamos la cantidad de ayudantes requeridos cada día de la semana y, finalmente, programamos trabajadores individuales en los turnos de trabajo.

EJEMPLO 13.1

PROGRAMACIÓN DE EMPLEADOS

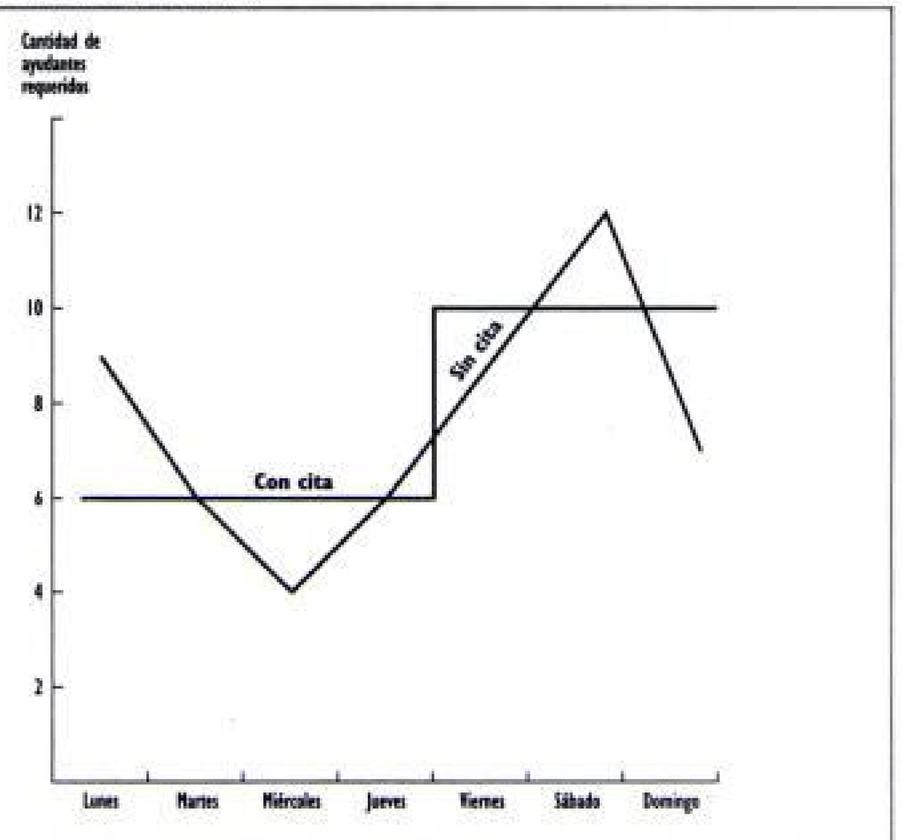
José Ferdinand está estudiando los registros de asistencia de los miembros de la figura 13.2 con intención de programar a sus ayudantes para trabajar turnos en el gimnasio. Los miembros votaron recientemente con el objetivo de que se establezca un sistema de citas en el gimnasio para evitar que se sobrecargue durante ciertas horas de la semana y así evitar el costo adicional de tiempo extra de ayudantes que recientemente el gimnasio ha utilizado en exceso. José sabe que la cantidad de miembros en el gimnasio a todo lo largo del día tiende a ser bajo por las mañanas y más elevado por las tardes. A pesar de este patrón hora con hora, José cree que la carga de trabajo de los ayudantes es generalmente uniforme a lo largo del día, porque los miembros que asisten por las mañanas tienden a estar en programas normales de ejercicios y requieren más ayuda; quienes se presentan por las tardes tienden a participar en actividades recreativas y requieren menos ayuda. Por lo tanto, la carga de trabajo horaria de los ayudantes es aproximadamente igual.

Ahora, José debe desarrollar programas de citas y de turnos de trabajo para los ayudantes.

SOLUCIÓN

1. Primero, José convierte la información de uso de la figura 13.2 a la cantidad de ayudantes que se requieren todos los días. Esta conversión se efectúa en la figura 13.3 de dos maneras: con citas y sin citas.

FIGURA 13.3 NECESIDAD DE AYUDANTES EN EL GIMNASIO



2. Después, José desarrolla la cantidad de ayudantes requeridos todos los días con el sistema de citas.

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Turnos de trabajo semanales de los ayudantes
6	6	6	6	10	10	10	54

Con esta información, José sabe que si cada ayudante trabaja cinco turnos por semana, necesitará un mínimo de 11 ayudantes. ***Mínimo*** significa que este número quizás no pueda realmente conseguirse en la práctica, debido a las limitaciones de cinco días consecutivos de trabajo, dos días libres consecutivos y ocho horas consecutivas por día:

$$\text{Cantidad mínima de ayudantes} = \frac{\text{Cantidad total de turnos de trabajo de ayudantes por semana}}{\text{Cantidad de turnos de trabajo por semana por ayudante}}$$

$$= 54/5 = 10.8, \text{ o } 11 \text{ ayudantes}$$

3. José desarrolla un programa de turnos de trabajo para los ayudantes. La figura 13.4 muestra el procedimiento utilizado para desarrollar el programa de turnos de trabajo, que utiliza la regla heurística de turnos de trabajo para determinar los días de descanso de cada trabajador:

Regla heurística para turnos de trabajo: *escoja dos días consecutivos con la menor cantidad total de turnos de trabajo requeridos. En caso de empate, seleccione arbitrariamente un par y continúe.*

FIGURA 13.4 **PROCEDIMIENTO HEURÍSTICO DE TURNOS DE TRABAJO PARA PROGRAMACIÓN DE TURNOS DE TRABAJO DE AYUDANTES EN EL FITNESS HEALTH CLUB**

Ayudante	Cantidad de turnos de trabajo de ayudantes						
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
1	(6	6*)	6	6	10	10	10
2	5	6	(5	5*)	9	9	9
3	(5	5*)	5	5	8	8	8
4	4	5	(4	4*)	7	7	7
5	(4	4*)	4	4	6	6	6
6	3	4	(3	3*)	5	5	5
7	(3	3*)	3	3	4	4	4
8	2	3	(2	2*)	3	3	3
9	(2	2*)	2	2	2	2	2
10	1	2	(1	1*)	1	1	1
11		1	1	1	(0	0*)	0**

*Los pares de días circulados indican dos días consecutivos libres para un ayudante.
**Ese día habrá un ayudante extra. Esta es una holgura inevitable, porque hemos elegido utilizar todos los empleados de tiempo completo y sólo se requieren 54 turnos de trabajo, pero al emplear 11 ayudantes resultan 55 turnos de trabajo.

De la figura 13.3 se toma la cantidad de turnos de trabajo de ayudantes requeridos cada día cuando se planea el programa del ayudante 1. Se resta un turno de trabajo de los turnos de trabajo del ayudante 1 (miércoles-domingo) para obtener los turnos de trabajo de los ayudantes restantes requeridos cuando se planee el programa del ayudante 2. Este proceso se repite para cada programa de ayudante, hasta que se circulan dos ceros consecutivos y todos los números de la hilera son unos o ceros.

4. Después, en la figura 13.4, José determina los turnos que se programarán para cada ayudante durante cada semana:

Ayudante	Días de trabajo	Días libres	Ayudante	Días de trabajo	Días libres
1	Miércoles–domingo	Lunes-martes	7	Miércoles–domingo	Lunes-martes
2	Viernes-martes	Miércoles-jueves	8	Viernes-martes	Miércoles-jueves
3	Miércoles-domingo	Lunes-martes	9	Miércoles-domingo	Lunes-martes
4	Viernes-martes	Miércoles-jueves	10	Viernes-martes	Miércoles-jueves
5	Miércoles-domingo	Lunes-martes	11	Domingo-jueves	Viernes-sábado
6	Viernes-martes	Miércoles-jueves			

Aunque el procedimiento heurístico para los turnos de trabajo que se ha utilizado no garantiza resultados óptimos, lo que quiere decir que el programa de turnos de trabajo requiere la mínima cantidad de ayudantes posibles, José sabe que da como resultado programas con muy poca holgura; además, sabe que pueden existir otros programas igualmente buenos como el que ha desarrollado mediante este procedimiento heurístico. También sabe que el procedimiento heurístico de turnos de trabajo se puede utilizar con o sin programas de citas.

Veamos ahora la programación de otro tipo de operación de servicio.

PROGRAMACIÓN DE OPERACIÓN DE SERVICIO AL CLIENTE COMO PARTICIPANTE

En este tipo de operación de servicio hay un elevado grado de participación del cliente. Dado que los clientes participan en las operaciones, el diseño, planeación, control, análisis y administración de estas operaciones se ve afectado en gran medida.



Las tiendas al menudeo son ejemplos de operaciones de servicio al cliente como participante, por lo que las disposiciones físicas de las instalaciones deben acomodarse a las necesidades de los clientes, por ejemplo, el despliegue informativo y atractivo de las mercancías, así como pasillos muy amplios.

NATURALEZA DE ESTAS OPERACIONES

Las operaciones al menudeo, donde los clientes compran, seleccionan, pagan y se llevan los bienes físicos, es un ejemplo de este tipo de operaciones de servicio. Dado que los clientes participan en ellas, los diseños de las instalaciones deben necesariamente tomar en consideración las necesidades del cliente. Por lo general, se incluyen estas características:

- Muy fácil acceso a supercarreteras y vías de circulación muy ocupadas.
- Grandes áreas de estacionamiento, bien organizadas y bien iluminadas.
- Entradas amplias bien diseñadas para que las personas se muevan desde y hacia las áreas de estacionamiento; entradas fácilmente localizables, diseñadas para aceptar grandes cantidades de clientes durante las horas pico.
- Puertas y escaleras eléctricas para reducir el esfuerzo físico de abrir puertas y subir escaleras cuando deben transportarse mercancías con las manos ocupadas.
- Vestíbulos y otras áreas de recepción o de descanso para los clientes y líneas de espera de los clientes.
- Sanitarios, bebederos, departamentos de crédito, mostradores para devoluciones y mostradores de información.
- Mostradores de servicio, cajas registradoras y estaciones de trabajo de empleados.
- Exhibidores de mercancías, pasillos y decoración e iluminación atractivas.

El grado en que deben proporcionarse todas estas características varía con la participación de los clientes en las operaciones. Piense, por ejemplo, en las operaciones de mostrador de un banco, donde toda la instalación debe diseñarse en función de los clientes: estacionamiento, entrada y salida fácil, áreas de espera convenientes y confortables, líneas de espera para servicios estandarizados al cliente, ventanillas y cajeros, áreas individualizadas para cuentas de ahorros de clientes y servicio de préstamos a clientes. El área de mostradores de un restaurante McDonalds y las tiendas departamentales como Wal-Mart, Foley´s o Dillard´s son ejemplos de operaciones de servicio al cliente como participante.

La disposición física y la administración de estas operaciones requiere de una íntima cooperación y combinación de las funciones de operación y comercialización. La planeación y control de los inventarios, la calidad de los productos en los bienes físicos, la programación del personal, la planeación de las líneas de espera, el mantenimiento de los servicios generales, el almacenamiento, los embarques, las compras y la administración de materiales son del dominio de los gerentes de operaciones, y todo lo que hemos aprendido sobre planeación, control, análisis, programación y administración de las operaciones de manufactura se aplica directamente aquí. Pero estos problemas están profundamente afectados por las estrategias y tácticas de mercadotecnia. Por ejemplo, la disposición física de estas operaciones deberán desplegar los productos de tal manera, que los clientes puedan localizarlos fácilmente y que inviten a ser comprados. Para promover la venta de los productos de la organización se utilizan pasillos en ángulo para enfocar la atención de los clientes sobre artículos localizados fuera de los pasillos principales, patrones de recorrido en diamante y circulares, colocación de los elementos con alta redituabilidad en anaqueles perimetrales de piso, colocación de los artículos en oferta en los extremos de los pasillos y otras tácticas de mercadotecnia. También, necesariamente forman parte del dominio de mercadeo y mercadotecnia las políticas competitivas de precio, la publicidad en el punto de venta y fuera del punto de venta, la compra y otras facetas de las ventas al detalle. La administración de las operaciones y la comercialización están entremezcladas en la planeación, control y administración de estas operaciones.

Los objetivos de estas operaciones están dominadas por la satisfacción del cliente y la calidad del producto. Todas las facetas de la administración de las operaciones quedan afectadas de manera importante. Los pronósticos, la disposición física de las instalaciones, la evaluación de la automatización y de las computadoras en las operaciones, la planeación de la capacidad, las políticas de pedir y de almacenamiento de los inventarios y los programas de personal, todos ellos, están movidos por la necesidad de maximizar la satisfacción del cliente, y dado que generalmente estas operaciones tienen un fuerte elemento de bienes físicos, es extremadamente importante una calidad superior del producto.

Dado que los servicios ocurren en encuentros cara a cara entre empleados y clientes, el desempeño de los empleados es vital para lograr la satisfacción del cliente. Quizás el factor número uno para mantener o incrementar la penetración en el mercado a través de una mayor satisfacción

del cliente es una cuidadosa selección, contratación, capacitación, supervisión, evaluación y remuneración del personal. Más adelante analizaremos la importancia del personal en el logro de la satisfacción del cliente.

En estas operaciones de servicio al cliente como participante, las líneas de espera de los clientes son una preocupación importante tanto para los gerentes de operaciones como para los clientes.

LÍNEAS DE ESPERA EN LAS OPERACIONES DE SERVICIO

Como cliente, usted sabe lo exasperante que resulta quedarse varado en largas filas de espera. Con la proliferación en años recientes de operaciones de servicio, las líneas de espera de los clientes se han convertido en algo común que nos preguntamos si serán parte necesaria de los servicios.

Básicamente, las filas de espera de los clientes se forman porque los gerentes no han previsto suficiente capacidad de producción para evitarlas. No han contratado o no tienen suficiente personal o equipo para dar de inmediato los servicios al cliente cuando los demanda. Se podría tener capacidad excedente en forma de una abundancia de personal, de instalaciones y de equipo, pero los costos de operación no serían redituables. Por otra parte, si no se proporciona suficiente capacidad de producción y los clientes tienen que esperar demasiado tiempo, quizás no vuelvan a ese negocio en particular y los costos resultantes, en lo que se refiere a utilidades perdidas, serían grandes. Los gerentes de operaciones normalmente intentan alcanzar un equilibrio entre poner suficiente personal y equipo para mantener filas de espera relativamente cortas, de manera que la satisfacción del cliente sea alta, pero no tan cortas que los costos de operación sean excesivos.

El análisis de las filas de espera ha evolucionado para ayudar a los gerentes en la respuesta de preguntas como las siguientes:

- ¿Cuántos canales de servicio para clientes deberán equiparse con personal durante cada una de las horas del día?
- ¿Cuánto tiempo esperarán los clientes, en promedio, si equipamos seis canales de servicio de clientes durante cada una de las horas del día?
- ¿Cuántos clientes, en promedio, estarán en la fila de espera si equipamos seis canales de servicio de clientes durante cada hora del día?
- ¿Cuánta superficie de piso necesitaremos para líneas o fila de espera si equipamos seis canales de servicio para clientes?

Las líneas de espera se pueden formar en operaciones de muchos tipos: los trabajos de impresión de la computadora están esperando para ser procesados en una impresora láser a color. Los trabajadores están esperando marcar el reloj a la puerta de la empresa. Los clientes están esperando a que se les atienda en la ventanilla del cajero del banco. Los componentes están esperando que se les procese en una operación de manufactura. Las máquinas están esperando ser reparadas en un taller de mantenimiento. Los clientes están esperando para adquirir boletos en un mostrador de venta de boletos de una aerolínea. Los autotransportes están esperando para descargar en una plataforma. ¿Qué es lo que hace que se formen las líneas de espera? Cuando clientes, componentes, máquinas, trabajos de impresión o autotransportes están llegando a los centros de servicio de una manera irregular y la capacidad de los centros de servicio no se puede expandir o contraer para llenar exactamente las necesidades de estas llegadas, ello siempre dará como resultado filas de espera. Incluso si los gerentes *pudieran* expandir con rapidez la capacidad de los centros de servicio, el patrón de la demanda a menudo es tan impredecible, que los gerentes no pueden responder con suficiente rapidez para expandir las capacidades de los centros de servicio.

Para complicar aún más el análisis de las líneas de espera, por lo general no sabemos con certeza cuánto tiempo tomará el servicio en cada una de las llegadas. En bancos, por ejemplo, algunos clientes pueden tomar aproximadamente sólo un minuto para ser atendidos, porque quizás lo único que necesitan es cobrar un pequeño cheque o efectuar un depósito. Otros clientes pudieran requerir de 15 a 20 minutos en su servicio, particularmente si tiene todo un portafolios lleno de transacciones comerciales que deben completar.

Características de las líneas de espera Las líneas de espera típicamente tienen las siguientes características:

TABLA 13.3

TERMINOLOGÍA DE LAS FILAS

Llegada Unidad de la distribución de la tasa de llegadas. Ocurre cuando una persona, máquina, componente, etc., llega y demanda servicio. Cada unidad puede seguir identificándose como llegada mientras está en el sistema de servicio.

Tasa de llegadas (λ) Tasa a la cual las cosas o personas llegan, en llegadas por unidad de tiempo (por ejemplo, personas por hora). La tasa de llegadas, por lo general, tiene una distribución normal o según la distribución de Poisson.

Canales Cantidad de filas de espera en un sistema de servicio. Un sistema de un solo canal tiene sólo una línea, un sistema multicanal tiene dos o más líneas.

Fila Línea de espera

Disciplina de la fila Reglas que determinan el orden en el que se secuenciarán las llegadas a través de los sistemas de servicio. Algunas disciplinas de filas comunes son primera llegada, primer servicio; el tiempo de procesamiento más breve, la relación crítica y los clientes más valiosos se atienden primero.

Longitud de la fila Cantidad de llegadas esperando ser atendidas.

Fases del servicio Número de pasos en las llegadas de servicio. Un sistema de servicio de una sola fase sólo tiene un paso de servicio, en tanto que un sistema multifase tiene dos o más pasos de servicio.

Tasa de servicio (μ) Tasa a la cual se da servicio a las llegadas, en llegadas por unidad de tiempo (por ejemplo, por hora). Por lo general, la tasa de servicio tiene una distribución constante, normal o de Poisson.

Tiempo de servicio ($1/\mu$) Tiempo que toma atender una llegada expresada en minutos (horas, días, etc.) por llegada. La medida no incluye el tiempo de espera.

Tiempo en el sistema Tiempo total que ocupan las llegadas en el sistema, incluyendo tanto el tiempo de espera, como el tiempo de servicio.

Utilización (P_n) Grado en que cualquier parte de un sistema de servicio está ocupado por una llegada, generalmente se expresa como la probabilidad de que estén en el sistema n llegadas.

Tiempo de espera Tiempo que una llegada permanece en la fila.

1. Los patrones de llegada son irregulares o aleatorios. Aunque pudiéramos conocer el número promedio de llegadas por hora que debemos esperar, no sabemos con certeza la cantidad de llegadas en cualquier hora en especial.
2. Los tiempos de servicio varían entre llegadas. Aunque sabemos el tiempo promedio requerido para dar servicio a una llegada, no sabemos con anticipación cuánto tomará darle servicio a cada una de ellas.

Algunos gerentes planean la capacidad de los centros de servicio para la situación promedio, más un factor de seguridad. Por ejemplo, si el gerente de un banco sabe que deberá darle servicio en promedio a 50 clientes por hora en las ventanillas de los cajeros, se pondrían suficientes cajeros, efectivo, suministros, ventanillas de cajeros abiertas y espacios de espera para atender a un promedio de aproximadamente 70 clientes por hora. Este procedimiento de factor de seguridad se basa en el hecho de que, aunque en promedio llegarían 50 clientes por hora, pueden llegar tan pocos como 20 o tantos como 90 en cualquier hora. Dado que los patrones de llegada son irregulares, es decir aleatorios, pueden pasar 20 minutos sin ningún cliente y después pueden entrar por las puertas 15 clientes a la vez.

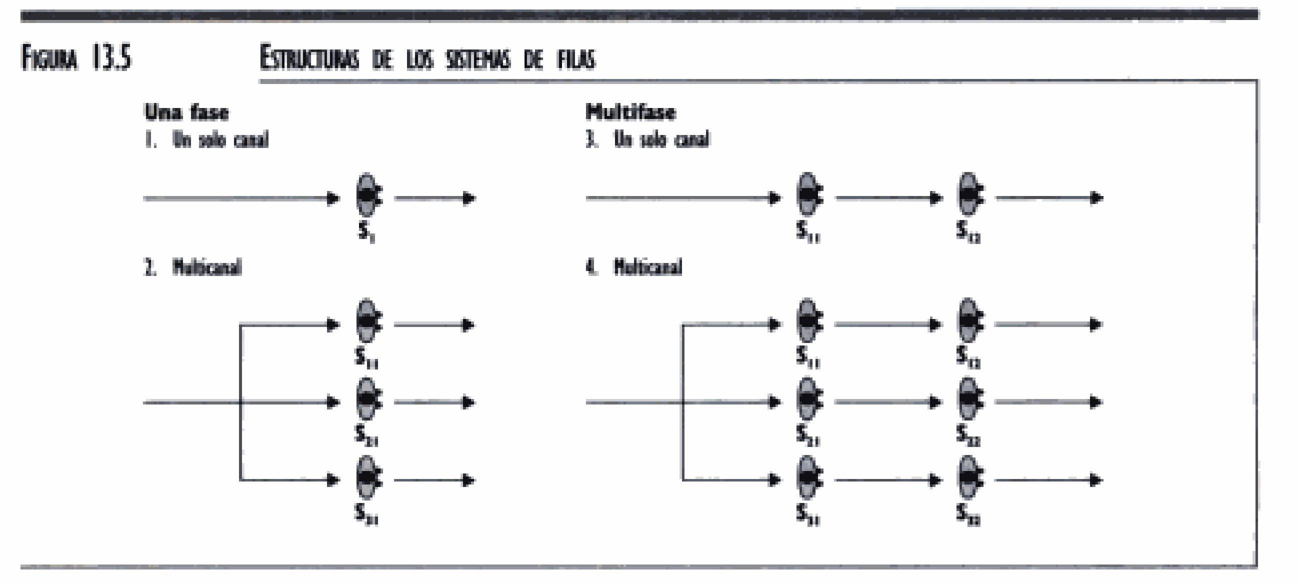
Aunque el procedimiento del factor de seguridad descrito se lleva en la práctica, se han desarrollado técnicas de análisis más precisas, que dan a los gerentes mejor información para planear la capacidad de los centros de servicio de filas de espera. El primer estudio sistemático registrado de líneas de espera fue ejecutado por A. K. Erlang, un matemático danés, que en 1917 trabajaba para Copenhagen Telephone Company. El trabajo pionero de Erlang ha sido profundizado y hoy se sabe mucho sobre el comportamiento de las líneas de espera.

Terminología y estructuras en los sistemas de filas Este conjunto de conocimientos sobre líneas de espera se conoce actualmente como la **teoría de filas,** y las líneas de espera se conocen como **filas**. Antes de que examinemos los principios de la teoría de **filas** y sus técnicas de análisis, estudie la terminología de filas en la tabla 13.3. La figura 13.5 muestra cuatro estructuras comunes de sistemas de filas.

Por lo general, ¿qué información necesitan saber respecto a las líneas de espera?

1. Dado que un sistema de servicio se ha diseñado para atender un cierto número de llegadas por hora en promedio:

FIGURA 13.5 ESTRUCTURAS DE LOS SISTEMAS DE FILAS



a. ¿Cuál es la cantidad promedio de unidades que están esperando?
b. ¿Cuál es el tiempo promedio que permanece cada unidad esperando?
c. ¿Cuál es la cantidad promedio de unidades esperando y en servicio, en otras palabras, en el sistema?
d. ¿Cuál es el tiempo promedio que cada unidad permanece dentro del sistema?
e. ¿Qué porcentaje de tiempo está vacío el sistema?
f. ¿Cuál es la probabilidad de que estén en el sistema *n* unidades?

2. Dado que la gerencia establece políticas que limitan la cantidad promedio de unidades esperando, cantidad promedio de unidades en el sistema, tiempo promedio que espera cada unidad, tiempo promedio que cada unidad está en el sistema o porcentaje de tiempo en que el sistema está vacío, ¿qué capacidad del centro de servicio será necesaria para cumplir con estas políticas?

Cuatro modelos de filas y sus fórmulas Presentamos aquí cuatro modelos que se han utilizado para estudiar sistemas particulares de filas. Las tablas 13.4 y 13.5 muestran las definiciones de las variables, las características de estos sistemas de filas y las fórmulas para su análisis.

Modelo 1: un solo canal, una sola fase. Las líneas de espera que son de un solo canal y de una sola fase pueden analizarse normalmente utilizando el modelo 1. Cuando se conocen la tasa de llegadas (λ) y la tasa de servicios (μ), entonces pueden calcularse el número promedio de llegadas en la línea ($\bar{n}_l$), la cantidad promedio de llegadas en el sistema ($\bar{n}_s$) y el tiempo promedio que tiene que esperar cada llegada (t_l), el tiempo promedio que cada una de las llegadas está en el sistema (t_s) y la probabilidad de que exactamente *n* llegadas estén en el sistema (P_n). El ejemplo 13.2 demuestra la forma en que pueden aplicarse las fórmulas de este modelo.

TABLA 13.4 DEFINICIONES DE VARIABLES PARA MODELOS DE FILAS

λ = Tasa de llegadas: cantidad promedio de llegadas por unidad de tiempo	P_n = Probabilidad de que existan exactamente *n* llegadas en el sistema
μ = Tasa de servicios: cantidad promedio de llegadas que se pueden atender por unidad de tiempo por canal	Q = Cantidad máxima de llegadas que pueden estar en el sistema (suma de llegadas que se están atendiendo y están esperando)
n = Cantidad de llegadas en sistema	$\bar{t}_l$ = Tiempo promedio en que las llegadas tienen que esperar
$\bar{n}_l$ = Cantidad promedio de llegadas a la espera	$\bar{t}_s$ = Tiempo promedio que las llegadas están dentro del sistema
$\bar{n}_s$ = Cantidad promedio de llegadas en el sistema	
N = Cantidad de canales en un sistema multicanal	

promedio de la fila. **b.** Calcule la cantidad promedio de clientes en el sistema de servicio. **c.** Calcule el tiempo promedio que esperarán los clientes. **d.** Calcule el tiempo promedio que los clientes estarán en el sistema. **e.** Calcule la probabilidad de que exista uno o más clientes en el sistema.

SOLUCIÓN

a. Calcule la longitud promedio de la cola (use la fórmula para el modelo 1):

$$\bar{n}_l = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} = \frac{(50)^2}{75(75 - 50)} = \frac{2{,}500}{75(25)} = \frac{2{,}500}{1{,}875} = 1.33 \text{ clientes}$$

b. Calcule la cantidad promedio de clientes en el sistema:

$$\bar{n}_s = \frac{\lambda}{(\mu - \lambda)} = \frac{50}{75 - 50} = \frac{50}{25} = 2.00 \text{ clientes}$$

c. Calcule el tiempo promedio que esperan los clientes:

$$\bar{t}_l = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} = \frac{50}{75(75 - 50)} = \frac{50}{75(25)} = \frac{50}{1{,}875} = 0.0267 \text{ hora} = 1.6 \text{ minutos}$$

d. Calcule el tiempo promedio que los clientes se quedan en el sistema:

$$\bar{t}_s = \frac{1}{(\mu - \lambda)} = \frac{1}{75 - 50} = \frac{1}{25} = 0.040 \text{ hora} = 2.4 \text{ minutos}$$

e. Calcule la probabilidad de que uno o más clientes estén en el sistema:

Primero, calcule la probabilidad de que el sistema este vacío:

$$P_n = \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right)\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n, \text{ donde } n = 0$$

$$P_0 = \left(1 - \frac{50}{75}\right)\left(\frac{50}{75}\right)^0 = \left(1 - \frac{50}{75}\right)(1) = 1 - \frac{50}{75} = 1 - 0.667 = 0.333$$

Después, puesto que P_0 es la probabilidad de que el sistema este vacío, $1 - P_0$ es la probabilidad de que estén en el sistema 1 o más clientes.

$$1 - P_0 = 1 - 0.333 = 0.667$$

Modelo 2: Un solo canal, una sola fase y tiempo constante de servicio. Cuando las filas de espera de un solo canal y de una sola fase tienen un tiempo de servicio constante, como en el caso de un lavado automático de automóviles, una máquina automática de café en un edificio de oficinas, o una operación de manufactura controlada por máquinas, por lo general el modelo 2 es el apropiado para el estudio de estos sistemas. Las medidas $\bar{n}_l$, $\bar{n}_s$, $\bar{t}_l$, y $\bar{t}_s$ también se calculan de las fórmulas de este modelo. Observe que estos valores serán siempre inferiores a los del modelo 1. Por lo tanto, los tiempos constantes de servicio son, por lo general, preferidos sobre los tiempos de servicio aleatorios. El ejemplo 13.3 muestra el uso de las fórmulas del modelo 2.

EJEMPLO 13.3

MODIFICACIÓN DE DMV EXPRESS A UNA TASA DE SERVICIO CONSTANTE

DMV Express del ejemplo 13.2, está considerado como el primer sitio para una nueva máquina de renovación de licencias automatizada. El cliente insertaría en la máquina su licencia de conducir actual,

que en su parte trasera tiene una tira magnética, junto con una tarjeta de crédito. La máquina, entonces, intercambiaría información con una computadora central en Salem, Oregon, así como con la empresa de la tarjeta de crédito del cliente. Si no hay pago pendiente, ninguna multa ni arrestos pendientes, y la compañía de la tarjeta de crédito aprueba el cargo, entonces la tira magnética de la licencia se actualiza y la licencia, la tarjeta de crédito y un recibo se devuelven al cliente. Se ha demostrado que el procesamiento total toma 48 segundos por persona, por lo que es posible dar servicio a 75 clientes por hora.

Utilice el modelo 2 para calcular: **a.** La longitud promedio de la fila. **b.** La cantidad promedio de clientes en el sistema. **c.** El tiempo promedio que esperarán los clientes y **d.** El tiempo promedio que los clientes están en el sistema.

Solución

a. Calcule la longitud promedio de la fila

$$\bar{n}_l = \frac{\lambda^2}{2\mu(\mu - \lambda)} = \frac{(50)^2}{2(75)(75 - 50)} = \frac{2{,}500}{3{,}750} = 0.667 \text{ cliente}$$

b. Calcule la cantidad promedio de clientes en el sistema:

$$\bar{n}_s = \bar{n}_l + \frac{\lambda}{\mu} = \frac{\lambda^2}{2\mu(\mu - \lambda)} + \frac{\lambda}{\mu} = \frac{(50)^2}{2(75)(75 - 50)} + \frac{50}{75} = \frac{2{,}500}{3{,}750} + \frac{50}{75} = 0.6667 + 0.6667$$
$$= 1.333 \text{ clientes}$$

c. Calcule el tiempo promedio que esperan los clientes:

$$\bar{t}_l = \frac{\lambda}{2\mu(\mu - \lambda)} = \frac{50}{2(75)(75 - 50)} = \frac{50}{3{,}750} = 0.0133 \text{ hora} = 0.8 \text{ minutos}$$

d. Calcule el tiempo promedio que los clientes se quedan en el sistema:

$$\bar{t}_s = \bar{t}_l + \frac{1}{\mu} = \frac{\lambda}{2\mu(\mu - \lambda)} + \frac{1}{\mu} = \frac{50}{2(75)(75 - 50)} + \frac{1}{75} = \frac{50}{3{,}750} + \frac{1}{75} = 0.01333 + 0.01333$$
$$= 0.0267 \text{ hora} = 1.6 \text{ minutos}$$

Modelo 3: un solo canal, una sola fase y una longitud de línea de espera limitada. Cuando las líneas de espera de un solo canal y de una sola fase tienen una longitud máxima limitada, por lo general se puede utilizar el modelo 3. Las longitudes de la fila de espera pueden limitarse por factores como el área del lugar de espera, el tamaño de los estacionamientos y el tamaño de las bandas transportadoras, que sujetan componentes que esperan ser procesados en operaciones de manufactura. El ejemplo 13.4 demuestra cómo se utilizan las fórmulas de este modelo.

Ejemplo 13.4

The Shiny Car Wash

The Shiny Car Wash proporciona diversos servicios de cuidados para los automóviles de sus clientes. Aproximadamente llegan seis autos por hora al lavado y los empleados pueden dar servicio a aproximadamente ocho autos por hora. Si el edificio y la entrada pueden permitir un máximo de sólo cuatro automóviles, calcule: **a.** $\bar{n}_l$, **b.** $\bar{n}_s$, y **c.** la probabilidad de que esté lleno el lavado de automóviles y su entrada.

SOLUCIÓN

a. Calcule $\bar{n}_l$:

$$\bar{n}_l = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^2\left[\frac{1 - Q(\lambda/\mu)^{Q-1} + (Q-1)(\lambda/\mu)^Q}{[1-(\lambda/\mu)][1-(\lambda/\mu)^Q]}\right]$$

$$= \left(\frac{6}{8}\right)^2\left[\frac{1 - 4(6/8)^{4-1} + (4-1)(6/8)^4}{[1-(6/8)][1-(6/8)^4]}\right]$$

$$= \left(\frac{6}{8}\right)^2\left[\frac{1 - 4(6/8)^3 + (3)(6/8)^4}{[1-(6/8)][1-(6/8)^4]}\right] = 0.5625\left[\frac{1 - 1.6875 + 0.9492}{0.25(0.6836)}\right]$$

$$= 0.5625\left(\frac{0.2617}{0.1709}\right) = 0.861$$

b. Calcule $\bar{n}_s$:

$$\bar{n}_s = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)\left[\frac{1 - (Q+1)(\lambda/\mu)^Q + Q(\lambda/\mu)^{Q+1}}{[1-(\lambda/\mu)][1-(\lambda/\mu)^{Q+1}]}\right]$$

$$= \left(\frac{6}{8}\right)\left[\frac{1 - (4+1)(6/8)^4 + 4(6/8)^{4+1}}{[1-(6/8)][1-(6/8)^{4+1}]}\right]$$

$$= \left(\frac{6}{8}\right)\left[\frac{1 - (5)(6/8)^4 + 4(6/8)^5}{[1-(6/8)][1-(6/8)^5]}\right] = 0.75\left[\frac{1 - 1.5820 + 0.9492}{0.25(0.7627)}\right]$$

$$= 0.75\left(\frac{0.3672}{0.1907}\right) = 1.444$$

c. Calcule la probabilidad de que el lavado de autos y su entrada estén llenos:

$$P_n = \left[\frac{1 - (\lambda/\mu)}{1 - (\lambda/\mu)^{Q+1}}\right](\lambda/\mu)^n$$

$$P_4 = \left[\frac{1 - (6/8)}{1 - (6/8)^{4+1}}\right](6/8)^4 = \left[\frac{1 - (6/8)}{1 - (6/8)^5}\right](6/8)^4 = \left(\frac{0.25}{0.7627}\right)0.3164 = 0.104$$

Modelo 4: multicanal, una sola fase. Cuando se utilizan más de una línea de espera y los servicios están en una sola fase, por lo general se puede utilizar el modelo 4 para proporcionar a los gerentes información con respecto a este sistema. Sin embargo, las fórmulas del modelo 4 son más complejas en su uso y aplicación. El uso de programas de computación como el de *POM Computer Library* han simplificado de manera importante la aplicación de este modelo. Los analistas suministran a la computadora las tasas de llegada, las tasas de servicio y la cantidad de líneas de espera. La computadora, entonces, efectúa los cálculos necesarios para proporcionar a los analistas P_n, $\bar{n}_l$, $\bar{n}_s$, $\bar{t}_l$, y $\bar{t}_s$. El ejemplo 15.5 ilustra la aplicación de este modelo.

EJEMPLO 13.5

EXPANSIÓN DE THE SHINY CAR WASH

The Shiny Car Wash ha recibido muchas quejas de sus clientes en el sentido de que no pueden obtener servicio porque el lavado de automóviles está lleno. El propietario de Shiny puede adquirir la propiedad vecina y expandir el lavado de automóviles, duplicando su instalación presente. Se sigue esperando que

unos seis automóviles por hora lleguen al lavado de coches, y en cada uno de los dos éstos los empleados pueden dar servicio a aproximadamente ocho automóviles por hora. El propietario de Shiny se pregunta de qué manera cambiará la cantidad promedio de automóviles esperando y en el sistema, y cuál sería la probabilidad de que ambas instalaciones quedaran vacías.

SOLUCIÓN

a. Primero calcule P_0, que es la probabilidad de que el sistema se quede vacío:

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{N-1}\left[\frac{(\lambda/\mu)^n}{n!}\right] + \frac{(\lambda/\mu)^N}{N!\left(1 - \frac{\lambda}{\mu(N)}\right)}} = \frac{1}{\sum_{n=0}^{1}\left[\frac{(6/8)^n}{n!}\right] + \frac{(6/8)^2}{2!\left[1 - \frac{6}{8(2)}\right]}}$$

$$= \frac{1}{\left[\frac{(6/8)^0}{0!} + \frac{(6/8)^1}{1!}\right] + \frac{0.5625}{2[1 - (6/16)]}} = \frac{1}{\left[\frac{1}{1} + \frac{6/8}{1}\right] + \frac{0.5625}{2(0.625)}}$$

$$= \frac{1}{(1 + 0.75 + 0.45)} = \frac{1}{2.2} = 0.4545$$

b. Calcule $\bar{n}_l$:

$$\bar{n}_l = P_0\left[\frac{\lambda\mu(\lambda/\mu)^N}{(N-1)!(N\mu - \lambda)^2}\right] = 0.4545\left[\frac{(6)(8)(6/8)^2}{(2-1)![(2)(8) - 6]^2}\right]$$

$$= 0.4545\left[\frac{27}{1(100)}\right] = 0.4545(0.27) = 0.1227$$

c. Calcule $\bar{n}_s$:

$$\bar{n}_s = \bar{n}_l + (\lambda/\mu) = 0.1227 + (6/8) = 0.1227 + 0.75 = 0.8727$$

Evaluación del análisis de las filas de espera en la administración de la producción y de las operaciones Un importante beneficio para la comprensión de los modelos que se presentaron en la tabla 13.5 es el discernimiento que a través de estos relativamente simples modelos se ha obtenido respecto al comportamiento de las líneas de espera. Por ejemplo, vea la fórmula para $\bar{n}_l$ del modelo 1. ¿Qué le pasa a la longitud de la fila de espera conforme la tasa de llegadas (λ) se acerca a la tasa de servicio (μ)? La respuesta es que la línea de espera se hace muy grande. La implicación para los gerentes de operaciones, respecto a este descubrimiento, es que la capacidad del centro de servicio (tasas de servicio) siempre deben ser algo mayores, en un margen seguro, a los niveles de demanda de los clientes (tasas de llegada). Este algo simplista descubrimiento forma el núcleo de un nuevo paradigma en la administración de la producción y las operaciones. Tradicionalmente, los gerentes de operaciones han intentado mantener la capacidad de producción tan baja como sea posible, con la finalidad de lograr una elevada utilización del personal y de las instalaciones. Se pensó que este procedimiento resultaba más eficiente, ya que se utilizaba menos capacidad para producir más bienes y servicios. Ahora, sin embargo, *con el nuevo paradigma de la competencia basada en el tiempo (TBC, por sus siglas en inglés) los gerentes de operaciones ven la importancia de tener capacidad adicional, de manera que las líneas de espera para productos y servicios se reduzcan en su longitud y la producción ocurra con mayor rapidez. Este nuevo paradigma se considera una forma clave de lograr una más elevada satisfacción del cliente*. Analizaremos más este concepto importante en el capítulo 14, Manufactura justo a tiempo (JIT).

El uso de estos modelos queda limitado por los factores siguientes:

1. Los servicios multifase no pueden analizarse mediante el uso de estas fórmulas.

2. Las tasas de llegadas y las tasas de servicio que no tengan distribuciones Poisson infinitas no pueden analizarse utilizando estas fórmulas.
3. Se supone una disciplina de fila de primera llegada, primer servicio (FCFS, por sus siglas en inglés). Otras disciplinas de uso común son el tiempo más breve de procesamiento, la relación crítica y los clientes más valiosos servidos primero.
4. En los sistemas de multicanal no se permite cambiar de línea.

Aunque estas hipótesis parecerían restrictivas, no hay motivo de alarma. Es reconfortante saber que un número sorprendente de sistemas de filas de una sola fase ocurre en las operaciones y las investigaciones han verificado que la mayoría de las tasas de llegada y las tasas de servicio tienen una distribución de Poisson, por lo que la disciplina de fila FCFS es común en los servicios y en muchas operaciones de manufactura.

Supongamos que un gerente de operaciones utiliza estos modelos para contratar personal y diseñar un sistema de línea de espera que cumpla con la política de no tener más de 10 clientes en promedio esperando. ¿Qué se puede hacer, si las líneas de espera crecen más allá de 10 clientes? No se ha perdido todo. Los modelos de filas pueden asistir y ayudar en el diseño de los sistemas de filas, pero queda al arbitrio del gerente de operaciones la *administración* del sistema de filas con base cotidiana. Como se analizó antes en este capítulo, se pueden reclutar trabajadores que, por lo general, se ocupan de otras obligaciones para activar canales adicionales o acelerar canales de operación que tengan líneas excesivamente largas. También emplean comúnmente en los servicios trabajadores de tiempo parcial a la espera, equipo de reserva y otras medidas contingentes para evitar longitudes de líneas y tiempos de espera excesivos.

Las líneas de espera pueden darse en todo tipo de operaciones de servicio y manufactura. Continuemos con el análisis de las operaciones de servicio al cliente como producto.

PROGRAMACIÓN DE LAS OPERACIONES DE SERVICIO AL CLIENTE COMO PRODUCTO

En las operaciones de servicio al cliente como producto, los clientes están tan involucrados en las operaciones que el cliente se convierte en el producto. Ejemplos de este tipo de operaciones de servicio son los salones de belleza, las clínicas médicas los hospitales y los sastres.

NATURALEZA DE ESTAS OPERACIONES

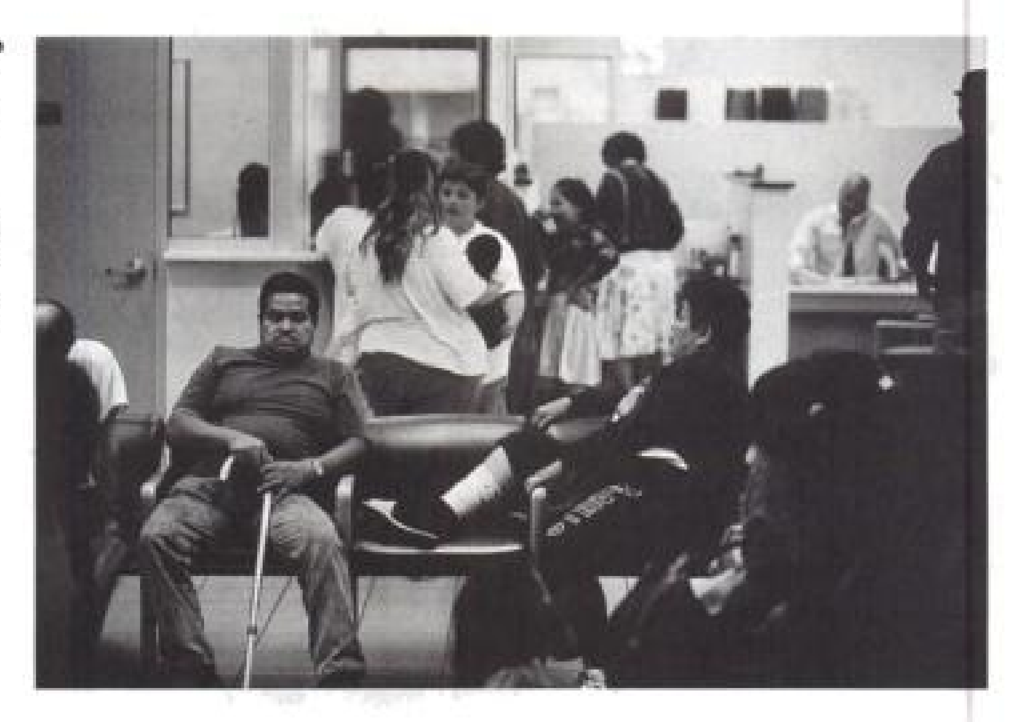
Una amplia gama de complejidad está representada en este tipo de operación de servicio. Un ejemplo de operación de servicio al cliente como producto, con menos complejidad, es un salón de belleza. Los clientes entran en el sistema, se sientan en el área de espera y empiezan a leer una revista. Después de esperar, se les da a elegir varios servicios: shampoo y arreglo del pelo, tratamientos de acondicionamiento, cortes de pelo, permanentes, y otros servicios. Después de recibir el servicio, pagan y salen del sistema. Todas las facetas de estas operaciones de servicio están diseñadas alrededor del cliente. Estas operaciones se planean, controlan, analizan y administran con un objetivo principal único: clientes satisfechos. Muchos factores se combinan para crear clientes satisfechos.

Algunos de estos factores son:

- Calidad extrínseca de los servicios: grado en que el servicio mismo logra los resultados esperados por el cliente.
- Las instalaciones: comodidad, conveniencia y atmósfera creada por la instalación.
- La química entre cliente y las personas del sistema de servicio; cordialidad y cortesía entre personal y clientes.
- La habilidad, competencia y profesionalismo del personal.
- El valor del servicio: costo de los servicios en relación con la cantidad de beneficios recibidos.

En sistemas simples de servicio al cliente como producto, por ejemplo los salones de belleza, los medios principales para satisfacer a los clientes con base cotidiana es el personal. Se contratan, capacitan, supervisan, evalúan y remuneran cuidadosamente. Una parte importante de una fuerza de trabajo eficaz para lograr elevados niveles de servicio al cliente es a través de métodos para obtener retroalimentación de los clientes respecto a la calidad percibida de los servicios. Las aerolí-

Dado que las necesidades de los pacientes de los hospitales puede variar en alto grado, un hospital debe ser lo suficientemente flexible para aceptar todos tipo y secuencia de tratamientos. Por ejemplo, un sistema de programación de un hospital pudiera basarse en un criterio de la necesidad más crítica, en lugar de primera llegada primer salida.



neas, los hoteles, los restaurantes y otros servicios rutinariamente proporcionan a sus clientes cuestionarios que deben llenarse y devolverse a las empresas. Con ese tipo de retroalimentación se logran dos objetivos: primero, los clientes perciben que las empresas se preocupan sobre lo que piensan y desean. Segundo, se obtiene información valiosa para una mejora continua de las operaciones. *Si usted pudiera escoger un factor sobre el que depende el éxito y la supervivencia de estas operaciones de servicio, el número 1 sería una fuerza de trabajo muy capacitada, motivada y efectiva*. Naturalmente, las instalaciones, la calidad de los materiales utilizados, los precios, el servicio rápido y otros factores también afectan la satisfacción del cliente.

Los análisis de fila de espera pueden ser útiles en la determinación de la cantidad apropiada de personal a programar durante cada hora del día en estas operaciones. En otras operaciones más complejas se necesitarán métodos de planeación y de programación más completos. Un ejemplo de operación de servicio más compleja del cliente como producto es un hospital. Aunque los hospitales se ocupan de recibir a los pacientes, liquidar sus cuentas y darlos de alta, la consideración dominante en el diseño, planeación, control, análisis y administración de estas operaciones de servicio es la aplicación de las habilidades y tecnologías médicas. Dado que los casos de los pacientes son tan distintos, los hospitales deben ser lo suficientemente flexibles como para aceptar una amplia variedad de tipos y secuencias de tratamientos para los pacientes. Por esta razón, están organizados en una disposición física de procesos, cirugía, radiología, laboratorios y prueba, terapia física, cuidados intensivos, urgencias, consultorios médicos, habitaciones de los pacientes, estaciones, enfermeras, cafetería, farmacia, administración y otros departamentos. La maquinaria, las áreas de trabajo humano y los departamentos médicos de los hospitales están agrupados y localizados, de acuerdo con su tecnología de proceso, de una manera muy similar a como un taller mecánico de servicio dispondría sus máquinas y sus estaciones de trabajo. Las instalaciones se diseñan para aceptar diversos patrones de flujo de los pacientes a través de las instalaciones y, al mismo tiempo, agrupando las habilidades de los empleados y las máquinas de acuerdo con los procesos técnicos que se realizan.

Aunque los hospitales tienen objetivos de efectividad en su costo, relaciones amigables y corteses con los pacientes y otras metas, su objetivo predominante es proporcionar tratamientos y procedimientos médicos efectivos a los pacientes, lo que debe llevar a una mayor satisfacción del cliente. Por tanto, dado que los hospitales se diseñan y planean con el enfoque principal de la efectividad en la tecnología médica, como producto utilizan disposiciones físicas de procesos, son aplicables las técnicas que se analizaron en el capítulo 8, Disposiciones físicas de las instalaciones: análisis de la

secuencia de las operaciones, análisis de diagrama de bloques y análisis de carga-distancia. Ese tipo de procedimientos intentaría minimizar la distancia total recorrida mensualmente por los pacientes, los clientes o los materiales entre departamentos o el costo mensual del manejo de materiales entre departamentos. En muchos servicios, las razones para tener los departamentos cerca unos de otros son a menudo múltiples, objetivas y subjetivas. En un hospital, por ejemplo, desearíamos tener radiología cerca de urgencias para permitir un rápido diagnóstico de casos de urgencia y desearíamos que la farmacia estuviera cerca de las habitaciones de los pacientes, para permitir una entrega rápida de los medicamentos a los pacientes. Similarmente, utilizando el mismo equipo y el mismo personal, la facilidad de comunicación, el movimiento lógico de los clientes, la velocidad, seguridad, contaminación y otros factores pudieran ser razones legítimas para desear que dos departamentos estén cerca o lejos uno del otro. En estos casos se utilizan **calificaciones de cercanía** para reflejar la deseabilidad de tener un departamento cerca de otro.

Cuando se trata de programar las operaciones de servicio al cliente como producto con disposiciones físicas de proceso, los procedimientos del capítulo 12, Planeación y control del piso de taller en la manufactura, pueden utilizarse. El control de entradas y salidas, los diagramas de Gantt, las reglas de secuencia de los pedidos, los costos de cambio de maquinaria y minimización del tiempo de flujo pueden ser particularmente útiles. ¿Puede usted ver las similitudes en la programación de un hospital y la programación de un taller artesanal? Por ejemplo, piense en establecer prioridades entre los pacientes de un hospital y el establecimiento de prioridades de los trabajos de un taller mecánico que, aunque obviamente se basan en criterios diferentes, siguen un procedimiento general similar. Los talleres artesanales pudieran utilizar un criterio de primera llegada, primer servicio, en tanto que el hospital pudiera utilizar el criterio relación más crítica.

En la programación de estos servicios encontramos extremos de complejidad. Pequeños servicios, como los consultorios de los doctores, pueden utilizar prácticamente ningún sistema de programación formal. En vez de ello, a menudo se utilizan dispositivos tales como programas de citas, sistemas de tomar un número o reglas de primera llegada, primer servicio para asignar las prioridades de los clientes. Trabajadores de tiempo parcial, equipo de reserva y transferencia de pacientes a otros doctores también se utilizan durante periodos de demanda pico. En el otro extremo, algunos sistemas de servicio, como los hospitales, han desarrollado sistemas de programación que a menudo sobrepasan en complejidad de programación a la manufactura de los talleres artesanales. Dado que estos servicios son sistemas de producir sobre pedido, sin inventario de productos terminados, la capacidad debe ser variable para llenar las amplias fluctuaciones en los niveles de demanda de los clientes. Dado que esta demanda es muy variable de una semana a otra y los servicios médicos deben brindarse con premura, estos sistemas de programación tienden a trabajar con un horizonte de planeación más bien breve; no es raro observar programas de estos sistemas para solamente una semana hacia el futuro.

En operaciones de servicio complejas, la simulación por computadora es una herramienta útil en la programación de personal y de otros recursos.

El uso de la simulación por computadora en las operaciones de servicio

La Instantánea industrial 13.1 ilustra el uso de la simulación por computadora para ayudar a tomar decisiones de personal y de programación en restaurantes de comida rápida. La flexibilidad de simulación por computadora para el análisis de una diversidad de problemas de administración de la producción y de las operaciones es quizás su más grande virtud. Estos problemas comparten ciertas características.

Características de los problemas de simulación por computadora La tabla 13.6 enlista seis de estas importantes características; cuando están presentes, la simulación por computadora puede resultar una herramienta efectiva para apoyar la toma de decisiones en la administración de la producción y de las operaciones.

Para demostrar el uso de la simulación por computadora, identificaremos los pasos clave en la ejecución de una simulación por computadora, trabajaremos un estudio de caso de un análisis de simulación manual y, finalmente, evaluaremos la utilidad de la técnica en la administración de la producción y de las operaciones.

ma, dependiendo de la naturaleza del problema médico, de seis a 30 minutos para que un doctor atienda a cada paciente.

Actualmente, dos doctores sirven en la plantilla de personal de la clínica, pero tanto los pacientes como los doctores se han estado quejando del servicio. Los pacientes se quejan de un tiempo de espera excesivo antes de ser atendidos y los doctores de tener demasiado trabajo y carecer de suficiente tiempo entre pacientes para descansar o realizar otras obligaciones previstas o no tener la posibilidad de salir del trabajo a las 5 p.m. El director de la clínica se pregunta: ¿cuánto tiempo de espera del paciente y tiempo ocioso de los doctores se tiene ahora y cuánto mejorarían las cosas si se agregara un tercer doctor al personal?

Ahora se desarrollará una simulación para analizar el problema de personal del director.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

¿Qué es lo que necesita saber el director de la clínica para resolver el problema? Necesita saber cuánto tiempo de espera de los pacientes o tiempo ocioso de los doctores resulta cuando en la plantilla de la clínica hay dos o tres médicos. Entonces podrá decidir el mejor arreglo de personal.

ELABORACIÓN DE UN MODELO

Se desarrolla un modelo matemático de la clínica siguiendo los procedimientos del paso 2 de la tabla 13.7.

Identificación de las variables y de los parámetros.

Las variables clave del modelo son la cantidad de pacientes que llegan cada hora, la cantidad de minutos requeridos por un doctor en atender a un paciente, el tiempo que los pacientes deben esperar antes de ser atendidos y el tiempo que los doctores están ociosos. El parámetro clave es la cantidad de médicos en la plantilla de la clínica.

Especifique las reglas de decisión.

Estas reglas serán la guía de nuestra simulación:

1. Se supone que los pacientes llegan uniformemente a lo largo de cada hora (los pacientes no esperan y los doctores no están ociosos debido a intervalos irregulares *dentro* de cada hora).
2. Se supone que los doctores dan servicio a los pacientes en una base de primera llegada, primer servicio. Cualquier paciente que quede de periodos anteriores será procesado primero, antes de los pacientes recién llegados.
3. Se supone que los patrones de llegada de los pacientes son aproximadamente los mismos todas las horas del día.
4. El tiempo de espera de los pacientes y el tiempo ocioso de los médicos se calcula cada hora a partir de la siguiente fórmula:

$$T_n = t_i - (60N - W_{n-1})$$

donde:

T_n = tiempo de espera del paciente o tiempo ocioso del doctor en el periodo n (si T_n es positivo, representa tiempo de espera del paciente, si T_n es negativo, representa tiempo ocioso del médico)

t_i = tiempo de servicio para un paciente de orden i que llega en el periodo n

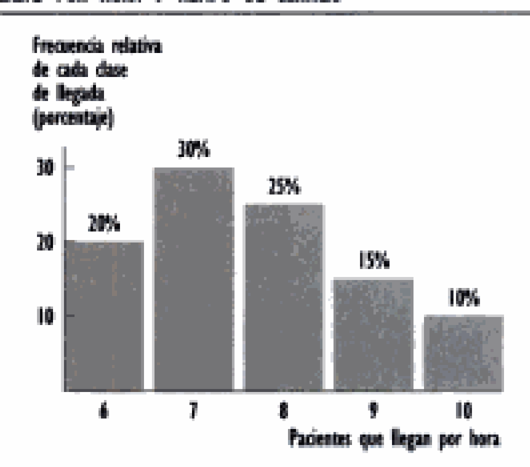
N = cantidad de doctores en la plantilla

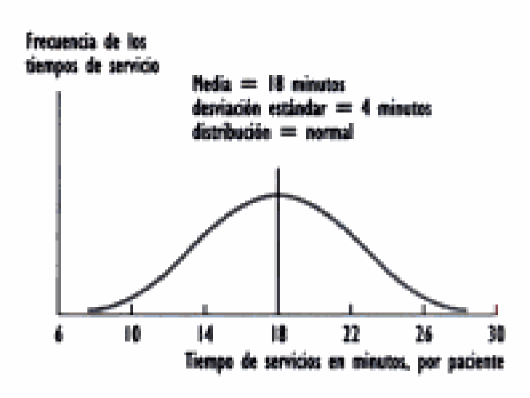
W_{n-1} = tiempo de espera de los pacientes en el último periodo, es decir, en el periodo $n - 1$

Reunir datos y especificar variables y parámetros.

La simulación comparará dos arreglos de plantilla: N = 2 y N = 3, cantidad de doctores en la plantilla. Los registros de las oficinas de la clínica dan la información histórica sobre las llegadas de pacientes y los tiempos de servicio que se encuentran en la figura 13.6.

FIGURA 13.6 DATOS HISTÓRICOS DE LLEGADAS POR HORA Y TIEMPO DE SERVICIO





Especifique procedimientos de incremento de tiempo.

Cada incremento de tiempo será una hora y se simularán suficientes intervalos de tiempo para cubrir un día de operación de las 8 a.m. a las 5 p.m.

Especifique procedimientos de resumen.

El tiempo de espera de los pacientes y el tiempo ocioso del doctor se totalizará para todos los intervalos de tiempo dentro de la simulación. Se calculará entonces los promedios para el tiempo de servicio del paciente, el tiempo de espera del paciente y el tiempo ocioso del médico.

PROCESE LA SIMULACIÓN

Dado que este ejemplo de simulación se procesará manualmente, no es necesario escribir ningún programa de cómputo, como se haría generalmente. Lo que sigue en esta sección sería el resultado de dicho programa de cómputo. Los elementos esenciales de esta simulación son la determinación de cuántos pacientes llegan cada hora y cuántos minutos se requieren para dar atención a cada paciente.

Llegadas Montecarlo.

Montecarlo es una técnica de generar valores aleatorios para distribuciones discretas, como la distribución discreta de los pacientes que llegan por hora en la primera parte de la figura 13.6. Montecarlo utiliza números aleatorios uniformes (*uniforme* significa que cada número tiene la misma oportunidad

TABLA 13.8 ESTABLECIMIENTO DE RANGOS DE NÚMEROS ALEATORIOS PARA CADA CLASE EN UNA DISTRIBUCIÓN DE LLEGADAS DISCRETAS PARA MONTECARLO

Pacientes que llegan por hora	Frecuencia relativa (porcentaje)	Rango de números aleatorios	Pacientes que llegan por hora	Frecuencia relativa (porcentaje)	Rango de números aleatorios
6	20%	0–19	9	15%	75–89
7	30	20–49	10	10	90–99
8	25	50–74			

de que ocurra) para seleccionar al azar la cantidad de pacientes que lleguen cada hora. Primero, de la tabla 13.8 establecemos rangos de números aleatorios que correspondan a la frecuencia relativa de cada clase de distribución de llegadas de paciente.

En este esquema, el rango de números aleatorios asignado a cada clase es exactamente igual a la frecuencia relativa de dicha clase; por lo tanto, para seleccionar una de las clases de pacientes que llegan por hora de la distribución se utilizan 100 números aleatorios de dos dígitos (0 a 99).

La tabla 13.9 es una tabla de números aleatorios uniformemente distribuidos. Esto significa que cualquiera de los dígitos de 0 a 9 ocurre con una misma frecuencia. No están arreglados en ningún orden, de ahí que son aleatorios. Para utilizar la tabla para seleccionar números aleatorios de 0 a 99, como deseamos hacer aquí, simplemente escoja un punto de partida en cualquier punto de la tabla. Para nuestros fines, empiece en la hilera 8 y lea de izquierda a derecha: 00, 28, 80, 40, 79, 86, 55, 59 y 14 son nueve números aleatorios (RN, por sus siglas en inglés) que se pueden utilizar para establecer la cantidad de llegadas de pacientes durante las nueve horas diarias de operación de nuestra simulación.

La tabla 13.10 utiliza estos números aleatorios para definir la cantidad de llegadas de pacientes para cada una de las horas de la simulación. El primer RN = 00 se ubica en el rango 0–19 de los números aleatorios de la tabla 13.8; esto establece seis llegadas para la primera hora. RN = 28 cae en el rango de 20–49 para siete llegadas; RN = 80 está en el rango de 75–89 para un rango de números correspondiente a nueve llegadas y así sucesivamente. Este procedimiento es utilizado para establecer el número de llegadas en las nueve horas de la simulación. Recuerde que puede leer números aleatorios uniformemente distribuidos de la tabla 13.9 en cualquier secuencia y desde cualquier punto de partida dentro de la misma: hacia arriba, hacia abajo, hacia la derecha o hacia la izquierda, pero debe ser consistente.

Tiempos de servicio normalmente distribuidos.

Ahora necesitamos establecer los tiempos de servicio para nuestros pacientes, pero no podemos utilizar Montecarlo porque los tiempos de servicio de la figura 13.6 están normalmente distribuidos con una media de 18 minutos y una desviación estándar de cuatro minutos. La tabla 13.11 es una tabla de números aleatorios normalmente distribuidos que corresponden a **valores Z** —número de desviaciones estándar que cada tiempo de servicio se aparta de la media. Se utiliza la siguiente fórmula para calcular el tiempo de servicio para cada paciente.

$$t_i = \mu + Z_i(\sigma) \qquad \text{o} \qquad t_i = 18 + Z_i(4)$$

Se determina Z para cada paciente seleccionando cualquier punto de partida dentro de la tabla 13.11. Para nuestros fines, empecemos en la esquina superior izquierda y leamos de izquierda a derecha: 1.21, −1.31, −1.12, 1.32, 0.86, y 0.31 son nuestros valores Z para los seis pacientes de la primera hora de nuestra simulación. Por lo tanto, ahora podemos calcular los tiempos de servicio correspondientes a estos pacientes.

$t_1 = 18 + 1.21(4) = 22.84$ minutos $\qquad t_4 = 18 + 1.32(4) = 23.28$ minutos

$t_2 = 18 - 1.31(4) = 12.76$ minutos $\qquad t_5 = 18 + 0.86(4) = 21.44$ minutos

$t_3 = 18 - 1.12(4) = 13.52$ minutos $\qquad t_6 = 18 + 0.31(4) = 19.24$ minutos

Total 113.08 minutos

TABLA 13.9

TABLA DE NÚMEROS ALEATORIOS UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDOS

6351	8348	2924	2414	8168	7280	0164	5466
1322	8739	0532	4546	2482	3980	1543	3442
6763	9603	6748	4061	3636	5266	8868	5817
5091	8188	3314	6192	7322	8207	3347	6218
7182	7128	8132	4638	4643	6119	4925	4476
2533	4910	6664	5793	4777	6530	6187	8349
4415	1347	8346	7957	2627	4151	1266	0237
0028	8040	7986	5559	1479	8844	9750	8901
5661	3854	2177	8376	0663	8592	5586	6187
6844	5383	0699	5749	8201	7467	0991	8737
3509	2418	2928	5803	8471	8598	5349	4714
0141	8418	9238	9667	4857	2140	9129	5517
0939	5977	7415	0690	7409	8244	2783	2502
9969	7295	4053	8663	5499	5024	0652	8698
6321	9644	0971	9037	5476	1527	9879	5530
4268	5837	6611	7137	3323	5702	4309	4533
8417	9699	2447	7390	2312	7368	3398	4075
3869	6536	4393	7533	5664	6182	6118	1073
1377	8599	9206	7842	4198	4608	9864	7713
7495	5559	5896	5344	8997	5889	4361	3166
9744	9971	2129	3036	9055	7011	0568	0312
6759	7744	5634	4107	3940	6674	4587	7455
3451	3612	0610	1156	1445	8261	6565	5042
1163	1599	9134	0409	0248	7807	4608	7382
2822	0493	7563	0939	7569	6966	3677	9366
3100	4307	7942	8883	1821	0982	9504	8185
3570	7757	4412	6664	0271	1656	7491	0047
2857	6721	4616	7207	1696	5314	6621	1898
1800	3717	6102	3159	4036	5780	8360	8142
3607	8366	7733	1108	7052	2340	0569	2354
9008	2860	6091	0800	9986	2712	6403	4006
6416	2438	6883	9360	4209	1018	8223	0181
7079	0844	1351	0508	0886	0747	6502	2293
5241	0807	7674	8782	3627	2728	3727	7805
3291	9499	7374	8751	6143	8100	3308	6951
1928	9013	6726	9241	4907	6275	3487	4448
5310	1826	3163	2545	6803	7911	6237	6225
1215	1270	6680	8651	1790	2881	1176	1130
6195	6999	6240	4452	0552	3239	4469	7658
5731	5461	1187	7973	7158	1193	2734	5666

TABLA 13.10

USO DE MONTECARLO PARA DETERMINAR LA CANTIDAD DE LLEGADAS DE PACIENTES PARA CADA HORA DE LA SIMULACIÓN

Hora	Número aleatorio uniforme (RN)	Llegadas de pacientes	Hora	Número aleatorio uniforme (RN)	Llegadas de pacientes	Hora	Número aleatorio uniforme (RN)	Llegadas de pacientes
1	00	6	4	40	7	7	55	8
2	28	7	5	79	9	8	59	8
3	80	9	6	86	9	9	14	6

Nota: la cantidad de llegadas se determina colocando RN dentro de uno de los rangos de números aleatorios de la tabla 13.8.

TABLA 13.11 **VALORES Z NORMALMENTE DISTRIBUIDOS**

1.21	−1.31	−1.12	1.32	0.86	0.31	−0.77	1.90
0.40	−0.11	−1.63	−0.75	0.92	−0.81	−1.12	1.28
1.40	−0.49	0.56	0.10	−1.05	0.48	1.00	−0.35
−0.04	1.21	1.80	−0.21	−1.58	0.15	−2.75	0.45
0.47	−0.28	2.02	3.00	1.14	−0.54	1.72	0.60
0.11	0.77	1.14	0.46	1.01	0.04	−1.05	−0.11
0.22	1.94	−0.11	1.02	−0.79	−0.24	0.52	1.66
−1.80	0.97	−0.76	0.31	1.27	0.81	−0.17	−0.28
0.09	−0.60	−0.63	0.56	0.09	1.08	−0.60	2.10
1.66	−2.26	0.10	1.66	−0.85	−0.34	0.02	0.73

Nota: Estos números no están en ningún orden y están normalmente distribuidos con una media de 0.

Repitiendo este procedimiento, podemos calcular los tiempos de servicio de todos los pacientes y totalizar estos tiempos de servicio para cada una de las horas de la simulación: 113.1, 135.1, 160.6, 112.8, 197.1, 180.3, 154.7, 159.2 y 98.8. Esta tarea se simplifica si se utiliza una hoja de cálculo de computadora, como *Excel* de Microsoft.

Ejecución de la simulación.

Ahora estamos listos para ejecutar la simulación. La tabla 13.12 enlista la cantidad de pacientes que llegan y la cantidad total de servicios de cada una de las horas de la simulación. El tiempo de espera del paciente y el tiempo ocioso del doctor se calculan para cada hora para las dos organizaciones de plantillas de personal. Por ejemplo, en la hora 4:

Dos doctores:

$$T_n = t_i - (60N - W_{n-1}) \qquad T_4 = 112.8 - (120 - 55.7) = 112.8 - 64.3 = 48.5$$

Dado que T_4 es positivo, representa tiempo de espera del paciente.

Tres doctores:

$$T_n = t_i - (60N - W_{n-1}) \qquad T_4 = 112.8 - (180 - 0) = -67.2$$

Dado que T_4 es negativo, se trata de tiempo ocioso del doctor.

TABLA 13.12 **RESUMEN DE SIMULACIÓN DE UNA CLÍNICA DE CONSULTA EXTERNA**

			Dos doctores		Tres doctores	
Hora	Cantidad de pacientes llegando	Tiempo total de servicio (minutos)	Tiempo de espera de los pacientes (minutos)	Tiempo ocioso de los doctores (minutos)	Tiempo de espera de los pacientes (minutos)	Tiempo ocioso de los doctores (minutos)
1	6	113.1	0	6.9	0	66.9
2	7	135.1	15.1	0	0	44.9
3	9	160.6	55.7	0	0	19.4
4	7	112.8	48.5	0	0	67.2
5	9	197.1	125.6	0	17.1	0
6	9	180.3	185.9	0	17.4	0
7	8	154.7	220.6	0	0	7.9
8	8	159.2	259.8	0	0	20.8
9	6	98.8	238.6	0	0	81.2
Totales	69	1,311.7	1,149.8	6.9	34.5	308.3
Promedio por paciente		19.0	16.7	0.1	0.5	4.5

Una vez calculados de manera similar todos los tiempos de espera y los tiempos ociosos de los doctores, para todas las horas de la simulación, se calculan los totales y los promedios. Esta información se puede resumir de la manera siguiente:

	Dos doctores	Tres doctores
Tiempo de servicio promedio por paciente	19.0 minutos	19.0 minutos
Tiempo de espera promedio por paciente	16.7 minutos	0.5 minuto
Tiempo ocioso promedio por doctor entre paciente y paciente	0.1 minuto	4.5 minutos

El director está de acuerdo con los pacientes: una clínica con dos doctores da como resultado un tiempo de espera demasiado grande. Probablemente también los médicos están sobretrabajados. Un arreglo de personal con tres doctores resuelve ambos problemas, pero a un cierto costo.

El ejemplo 13.6 demuestra los pasos esenciales en el desarrollo de la simulación por computadora sin sobrecargarlo con cálculos complejos. Usted deberá comprender, sin embargo, que este ejemplo es simple, en comparación con la mayoría de las simulaciones por computadora, en por lo menos tres puntos: 1) La mayoría de los sistemas simulados son mucho más complejos que una clínica de consulta externa de dos o tres doctores. 2) Las reglas de decisión son rara vez tan sencillas como las de este ejemplo. 3) La cantidad de variables aleatorias y sus patrones de azar son por lo general mayores. Frecuentemente deben representarse distribuciones de Poisson exponenciales y otras, además de las distribuciones discreta y normal de este ejemplo. Pero, a pesar de la simplicidad de nuestro ejemplo, su procedimiento es similar en la mayor parte de los aspectos a sus contrapartidas del mundo real.

Evaluación de la simulación por computadora Una simulación por computadora merece nuestra atención por tres razones:

1. Quizás es una de las herramientas analíticas más flexibles, ya que puede aplicarse a una serie de problemas de administración de la producción y las operaciones.
2. Se utiliza frecuentemente en la industria, por lo que la probabilidad de encontrarlo en su empleo futuro es relativamente elevada.
3. No es muy matemático ni complejo; más bien, utiliza un procedimiento experimental relativamente sencillo para el análisis de problemas.

La simulación por computadora no siempre da las mejores respuestas, pero al comparar políticas de administración alternativas se pueden desarrollar soluciones funcionales. A pesar de que es cierto que la técnica requiere de especialistas bien entrenados y un sistema de cómputo efectivo, estos elementos cada vez son más comunes en la mayoría de las organizaciones.

RECOPILACIÓN



LO QUE HACEN LOS PRODUCTORES DE CLASE MUNDIAL

La administración de los negocios de servicio presenta muchos retos. Puede crear dificultades el hecho de que sus resultados no pueden ser puestos en inventario debido a la participación de los clientes en las operaciones, a los plazos de entrega cortos, a una calidad que es determinada de una manera subjetiva y una demanda no uniforme, pero algunas de las corporaciones estadounidenses más grandes y de mayor éxito son negocios de servicios, por lo que estas dificultades pueden ser superadas. Compañías como AT&T, Wal-Mart, Citicorp, American Airlines y American Express, de las ramas de la telecomunicación, de la mercadotecnia masiva, de la banca, de la transportación aérea y de los servicios financieros han hecho dos cosas fundamentales para administrar exitosamente sus operaciones:

1. Donde resulta apropiado, han adoptado procedimientos avanzados y bien conocidos de planeación, análisis y control, que primero fueron desarrollados en la manufactura.

2. Han reconocido las propiedades únicas de las operaciones de servicio y han desarrollado procedimientos novedosos de administración para este tipo de operaciones.

Esto se ha facilitado al clasificar las operaciones de servicio en los siguientes tipos: cuasi manufactura, cliente como participante y cliente como producto. Las propiedades de este tipo de operaciones de servicio proporcionan un marco analítico para adaptar procedimientos existentes y desarrollar nuevos para estas aplicaciones.

Prácticamente todo negocio de servicio tiene uno o más departamentos, conjuntos de departamentos y operaciones completas que son de cuasi manufactura. Para todos los efectos, estas operaciones se administran de la misma manera que en la manufactura. Actividades como pronósticos, diseño de procesos de producción, selección y administración de la tecnología de la producción, planeación de la capacidad, disposición física de las instalaciones, compras, planeación de inventarios y programación se conducen igual que en la manufactura. Aunque algunos pudieran decir que estas operaciones están regidas más por las necesidades de proporcionar una satisfacción superior al cliente que en el caso de la manufactura, los fabricantes de clase mundial no siempre estarían de acuerdo.

Las operaciones de servicio al cliente como participante quizás son representadas mejor en el caso del menudeo. Aquí, en el piso de compras, la administración de las operaciones y la administración de la mercadotecnia se combinan para una administración efectiva de las operaciones, obteniendo una penetración más grande en el mercado y una mayor redituabilidad a través de una mejor satisfacción del cliente. Aunque todos los elementos de las operaciones afectan a la satisfacción del cliente, el encuentro entre personal y cliente, al prestarle los servicios, es vital. Por esta razón, se seleccionan, contratan, capacitan, supervisan, evalúan y premia a los empleados con la satisfacción del cliente como meta suprema.

Las operaciones de servicio al cliente como producto tienen un contacto todavía más estrecho entre cliente y personal de operaciones, dado que, de hecho, el servicio se lleva a cabo sobre el cliente. Reconociendo la complejidad de fomentar la satisfacción del cliente en un entorno de este tipo, los empleados se convierten en un medio vital para conseguir una proporción mayor del mercado y una mayor rentabilidad.

Para muchas empresas, la programación efectiva de estas operaciones de servicio se logra a través de la programación del personal. Técnicas como programación de grupos de trabajo, análisis de línea de espera y la simulación por computadora son utilizadas para planear y controlar estas operaciones de servicio.



PREGUNTAS DE REPASO Y ANÁLISIS

1. Nombre y explique cuatro propiedades de los servicios.
2. ¿Cuáles son algunos de los malos entendidos sobre los servicios?
3. Nombre y explique cinco elementos que describen la naturaleza de los servicios.
4. Nombre y describa tres tipos de operaciones de servicio. Dé un ejemplo de cada uno de ellos.
5. ¿Cuáles son las características de los servicios que hace su programación más difícil?
6. ¿Cuáles son los cuatro procedimientos para tratar una demanda no uniforme de los servicios?
7. Describa una operación de servicio de cuasi manufactura y dé un ejemplo.
8. Describa de qué manera se planean, controlan, analizan, programan y administran las operaciones de cuasi manufactura.
9. Explique brevemente y describa la programación de los turnos de trabajo en las operaciones de servicio.
10. Describan operaciones de servicio al cliente como participante y dé un ejemplo.
11. Describa la forma en que una operación de servicio al cliente como participante se planea, controla, analiza, programa y administra.
12. Explique brevemente y describa el análisis de fila de espera en las operaciones de servicio.
13. Dé cinco ejemplos de línea de espera en los sistemas de producción.
14. Explique por qué se forman las líneas de espera.
15. ¿Cuáles son las hipótesis subyacentes a estos modelos de filas? a) modelo 1, b) modelo 2, c) modelo 3, d) modelo 4.
16. Describa algunas maneras en que los gerentes pueden variar la capacidad de producción para evitar filas de espera excesivas.
17. Describa una operación de servicio al cliente como producto, y dé un ejemplo.
18. Describa cómo se planean, controlan, analizan, programan y administran las operaciones de servicio al cliente como producto.
19. Explique brevemente y describa la simulación por computadora en las operaciones de servicio.
20. Nombre seis características de problemas apropiados para el análisis de simulación por computadora.
21. Nombre los seis pasos principales en la simulación por computadora.
22. Nombre seis actividades en la construcción de un modelo para la simulación por computadora.
23. Defina *Montecarlo.*
24. Defina *números aleatorios uniformemente distribuidos.*
25. Defina *número aleatorios normalmente distribuidos.*

TAREAS EN INTERNET





1. Visite y explore el sitio Internet de CACI Products Company (**www.cacisl.com**). Localice las páginas Web del software de simulación *MODSIM III* (o su última versión). Describa brevemente las características de este software. Localice las páginas Web que describen el uso de este software en compañías específicas. Seleccione la compañía y describa operaciones y procesos simulados por la compañía con *MODSIM III*.
2. Busque en Internet una empresa que produzca software para programación del personal. Describa el software y sus características. Proporcione la dirección del sitio Web de la misma.
3. Busque en Internet una empresa que produzca software para programación de pacientes en hospitales o clínicas. Describa el software y sus características, respecto a la programación de pacientes. Proporcione la dirección del sitio Web de la empresa.



4. Visite una librería en línea, como Amazon.com (**www.amazon.com**) y localice un libro sobre administración de operaciones de servicio de restaurante, de hotel o de comidas. Proporcione la ficha bibliográfica del libro.

PROBLEMAS

1. Un banco tiene cajeros que trabajan ocho horas diarias de lunes a sábado. La cantidad de turnos diarios de trabajo requeridos para los cajeros son:

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Total
Turnos de trabajo de los cajeros	10	8	6	7	8	10	49

Todos los cajeros son empleados de tiempo completo y, de acuerdo con las políticas de la empresa, se les tiene que dar cuatro días consecutivos de trabajo y dos días libres todas las semanas.

a. ¿Cuál es la cantidad mínima requerida de cajeros?
b. Utilice el procedimiento heurístico de turno de trabajo para desarrollar programas de turno de trabajo semanarios para los cajeros.
c. ¿Cuántos turnos de trabajo de cajero de holgura por semana están presentes en sus programas propuestos? ¿De qué manera se podría evitar esta holgura? ¿Son sus programas los óptimos?

2. La cantidad requerida de turnos de trabajo para los oficinistas de un detallista abarrotero son:

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Total
Turno de día	8	6	5	6	9	12	7	53
Turno de tarde	6	5	4	5	7	8	5	40

Los turnos se programan de manera independiente, el contrato sindical con los oficinistas exige programas semanarios basados en cinco días consecutivos de 8 horas diarias, y sólo pueden emplearse oficinistas de tiempo completo.

a. ¿Cuál es cantidad mínima de oficinistas requeridos tanto en el turno de día como en el de tarde?
b. Utilice el procedimiento heurístico de turnos de trabajo para desarrollar programas de turnos de trabajo para los oficinistas, tanto para los turnos de día como de la tarde.
c. ¿Cuántos turnos de trabajo de oficinista de holgura por semana están presentes en sus programas? ¿De qué manera se podría evitar esta holgura? ¿Es su solución la óptima?

3. Dados: Modelo 1, $\lambda = 6$ por hora y $\mu = 9$ por hora. Se requiere:
a. n_l, b. $\bar{n}_s$, c. $\bar{t}_l$, d. $\bar{t}_s$, e. P_0.

a. La cantidad de estudiantes que llegan en cada periodo de horas de oficina durante cinco periodos.
b. La cantidad total de minutos requeridos para ayudar a los estudiantes durante cada uno de los cinco periodos de horas de oficina.

18. Un puesto de periódicos vende un diario nacional. Su demanda diaria sigue el siguiente patrón:

Periódicos demandados	Frecuencia relativa (porcentaje)	Periódicos demandados	Frecuencia relativa (porcentaje)
100	10%	160	20%
120	20	180	15
140	30	200	5

El puesto de periódicos adquiere periódicos en paquetes de 20 a un costo de cuatro dólares por paquete y le carga a sus clientes 50 centavos por periódico. Cualquier diario sobrante al final del día se puede vender como desperdicio a un dólar por paquete. El puesto de periódicos desea comparar las dos reglas para pedir periódicos: 1) Ordenar o pedir la cantidad demandada hoy para las ventas de mañana (la demanda de hoy fue de siete paquetes) y 2) Pedir siete paquetes constantes por día. Use Montecarlo para llevar una simulación manual de siete días y comparar la utilidad diaria promedio utilizando las dos reglas de decisión. (Estos siete números aleatorios uniformemente distribuidos se leen hacia abajo, a partir de la esquina superior derecha de la tabla 13.9: 66, 42, 17, 18, 76, 49 y 37.)

CASOS

PRECISION CALIBRATION SERVICES COMPANY

Precision Calibration Services Company proporciona servicios de calibración a domicilio para equipo médico electrónico. Cuando un cliente llama a Precision solicitando servicio, un especialista de calibración viaja al centro médico del cliente, observa la operación del equipo y lo calibra. La calibración quiere decir una medición precisa y un ajuste de las características electrónicas del equipo, de manera que tenga un desempeño preciso. Un servicio rápido y confiable ha sido la piedra angular del crecimiento y éxito de Precision.

Precision ha tenido unas cuantas quejas sobre el tiempo requerido para que los especialistas de calibración respondan a las llamadas de los clientes. En una reciente reunión de personal, los especialistas calibradores dijeron que estaban trabajado tan duro y tan rápidamente como era posible, pero que en algunos días de la semana la cantidad de llamadas de servicio era tan grande, que podría tomar unos cuantos días llegar a algunas de estas solicitudes. Todos los especialistas calibradores trabajan ahora cinco días a la semana ocho horas diarias de lunes a viernes. Se está pensando en un arreglo diferente de programación para los especialistas calibradores, de manera que estuvieran disponibles para contestar las llamadas seis días a la semana. Cada uno de los calibradores trabajaría cuatro días por semana y 10 horas diarias, y tendría dos días libres consecutivos por semana, sin incluir el domingo (el domingo jamás se trabaja). Esta organización permitiría que la cantidad de especialistas ajustadores disponibles respondiera a solicitudes para coincidir mejor con el patrón cotidiano de volumen de las solicitudes.

Estos promedios parecerían ser una estimación razonable de la cantidad diaria de llamadas de servicio para las siguientes semanas:

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Total
Cantidad de solicitudes	29	25	19	30	33	40	176

Se espera que cada solicitud requiera un promedio de aproximadamente dos horas de tiempo del especialista de calibración. Precision desea planear turnos de trabajo para los expertos de calibración, para que coincidan aproximadamente con las solicitudes de servicio, pero le preocupa cómo se afectará el uso de los especialistas, la moral del grupo y el tiempo requerido para llevar a cabo un servicio al cliente.

Tarea

1. ¿Cuál es la cantidad mínima de especialistas requeridos?
2. Utilice el procedimiento heurístico de turnos de trabajo para desarrollar turnos para los especialistas calibradores.
3. ¿Cuánta holgura por semana está presente en sus programas de turnos de trabajo?
4. ¿De qué manera podría usted reducir la cantidad de holgura en sus programas de turnos de trabajo?
5. ¿Qué factores deberían considerarse para los cambios en los programas de turnos de trabajo como el que se está considerando en Precision? ¿Cuál de esos factores es de mayor importancia? ¿Podría usted sugerir la manera en que Precision podría efectuar los cambios de programación que se están considerando?

Computer Products Corporation Trucking Operations



POM

Escenario #1

La planta de Atlanta de Computer Products Corporation (CPC) embarca computadoras personales para pequeños negocios utilizando camiones de la empresa para transportar estos productos a almacenes regionales de la parte este de Estados Unidos. Los camiones regresan de los almacenes a la planta para su carga en un promedio de cuatro en un día de ocho horas. La planta utiliza una cuadrilla de carga en el departamento de embarques que ensambla los pedidos de los clientes correspondientes a computadoras personales y para pequeños negocios y carga los pedidos de salida en los camiones. La cuadrilla de embarques hace trabajo de almacén cuando no hay autotransportes en la planta y carga los camiones de salida con base en primera llegada, primer servicio. El equipo de la cuadrilla de embarque puede cargar en promedio seis camiones en un día de ocho horas. Cada autotransporte ocupa aproximadamente 200 pies cuadrados de espacio de estacionamiento, a cada conductor de camión se le paga 20 dólares por hora incluyendo beneficios sociales y a la cuadrilla de embarques se le paga un total de 150 dólares por hora incluyendo beneficios sociales. El contrato sindical de CPC con sus choferes de autotransporte no les permite ayudar en la carga o descarga de los vehículos.

a. En promedio, ¿cuánto espacio de estacionamiento resultaría necesario para camiones en espera de ser cargados?
b. ¿Cuánto le cuesta a CPC la cláusula del contrato sindical, que impide que los choferes hagan trabajo de carga y descarga, si la planta de Atlanta trabaja 250 días por año y suponemos que el tiempo ocioso de los conductores se podría poner en uso con un valor igual a su paga actual?



POM

Escenario #2

El administrador del almacén de la planta de Atlanta de CPC ha establecido una política que requiere que los choferes lleven sus vehículos a servicio en el centro de mantenimiento de la planta si está esperando a que lo carguen, pero cada uno de los autotransportes puede atenderse como máximo una vez por cada viaje. Suponga que los vehículos servidos no afectan las tasas de llegada de los cuatro camiones por día de ocho horas y que la terminal de carga opera de manera muy parecida a un sistema de línea de espera de un solo canal y de duración limitada de fila. Si cada camión hace un viaje cada 10 días en promedio, ¿con qué frecuencia se dará servicio a los autotransportes?

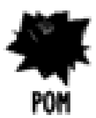
Escenario #3

La plataforma de carga de camiones descrita arriba tiene esta distribución de llegadas:

(1) Camiones que llegan en un día de ocho horas	(2) Minutos entre camiones que llegan [1/(1) × 480]	(3) Frecuencia relativa (porcentaje)
1	480	5%
2	240	15
3	160	20
4	120	30
5	96	20
6	80	10

El tiempo que le toma a una sola cuadrilla de embarques cargar los vehículos tiene una distribución normal, con una media de 80 minutos y una desviación estándar de 20 minutos. Utilice los siguientes números aleatorios uniformes para establecer la cantidad de transportes que llegan en 10 días de ocho horas: 73, 52, 51, 45, 41, 51, 82, 08, 60 y 00. Utilice los valores Z normalmente distribuidos de la tabla 13.11 para establecer los tiempos de carga de cada camión. (Empiece con la esquina inferior derecha de la tabla y lea horizontalmente hacia la izquierda a través del último renglón, regrese al margen derecho y pase al siguiente renglón de arriba y lea horizontalmente hacia la izquierda y repita hasta que haya terminado.) Siga los procedimientos del caso de la clínica de consulta externa del ejemplo 13.6 para determinar:

a. La cantidad de camiones que llegan diariamente durante 10 días.
b. La cantidad de minutos requeridos para cargar los camiones diariamente y el total para los 10 días.
c. La cantidad de minutos del tiempo ocioso de los choferes cada día y el total para los 10 días.
d. El tiempo ocioso diario de la cuadrilla de carga y el total para los 10 días.



Escenario #4

Debido a un gran incremento en las ventas, CPC ha duplicado la cantidad de camiones que están transportando computadoras personales y para pequeños negocios a los almacenes regionales. Los transportes están llegando ahora a una tasa de ocho por día de ocho horas, en promedio. Se ha aumentado una segunda cuadrilla de carga y ambas cuadrillas trabajaban en distintas plataformas de carga y cada una de ellas puede cargar en promedio seis camiones en un día de ocho horas. Con ayuda de los vehículos adicionales, ¿deberán esperar los conductores quedarse más tiempo en la planta que antes?

Nota final

1. "Service Jobs Have Been Getting a Bad Wrap." *Business Week, 15 de* febrero de 1993, 28.

Bibliografía seleccionada

Aviel, David. "Cutting Queues Reduces Costs and Generates Cash." *IIE Solutions* 28, no. 12 (diciembre de 1996): 16–17.

Bechtold, Stephen E. y Michael J. Brusco. "Microcomputer-Based Working Set Generation Methods for Personnel Scheduling." *International Journal of Operations & Production Management* 15, no. 10 (1995): 63–74.

Bechtold, Stephen E., Michael J. Brusco, y Michael J. Showalter. "A Comparative Evaluation of Labor Tour Scheduling Methods." *Decision Sciences* 22, no. 4 (septiembre-octubre de 1991): 683–699.

Colley, John L. *Case Studies in Service Operations*. Belmont, CA: Wadsworth, 1996.

Davidow, William H., y Bro Uttal. "Service Companies: Focus or Falter." *Harvard Business Review* 67 (julio-agosto de 1989): 77–85.

Fitzsimmons, James A., y Mona J. Fitzsimmons. *Service Management: Operations, Strategy, and Information Technology*, 2ª. edición. Boston: Irwin/McGraw-Hill, 1998.

Foote, B. L. "Queuing Case Study of Drive-In Banking." *Interfaces* 6, no. 4 ((agosto de 1976): 31.

Friedman, Hershey H., y Linda W. Friedman "Reducing the 'Wait' in Waiting-Line Systems: Waiting Line Segmentation." *Business Horizons* 40, no. 4 ((julio-agosto de 1997): 54–58.

Grossman, W. K. "Finding the Right Number of Servers in Real-World Queuing Systems." *Interfaces* 18, no. 2 (marzo-abril de 1988): 94–104.

Hall, Randolph W. *Queuing Methods: For Services and Manufacturing*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1997.

Hope, Christine, Alan Muhlemann, y Christine Witt. *Service Operations Management: Strategy, Design and Delivery*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1997.

Jamal, Muhammad. "Shift Work Creates Unusual Problems." *Personnel Journal* 68, no. 5 (mayo de 1989): 114–117.

Klafehn, Keith, Jay Weinroth y Jess Boronico. *Computer Simulation in Operations Management*. Westport, CT: Quorum, 1996.

Kostreva, Michael M. y Karen S. B. Jennings. "Nurse Scheduling on a Microcomputer." *Computers & Operations Research* 18, no. 8 (1991): 731–739.

Law, A. M., and W. D. Kelton. *Simulation Modeling and Analysis.* New York: McGraw-Hill, 1991.

Levitt, Theodore. "Production Line Approach to Service." *Harvard Business Review* 50 (septiembre-octubre de 1972): 41–52.

Love, Robert R., Jr. y James M. Hoey. "Management Science Improves Fast-Food Operations." *Interfaces* 20, no. 2 (marzo-abril de 1990): 21–29.

Melachrinoudis, Emanuel, y Michael A. Olafsson. "Microcomputer Cashier Scheduling System for Supermarket Stores." *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 25, no. 1 (1995): 34–50.

Prabhu, N. U. *Foundations of Queuing Theory.* Boston: Kluwer Academic, 1997.

Pritsker, A. Alan B., Jean J. O'Reilly, y David K. LaVal. *Simulation and Visual SLAM and AweSim.* New York: John Wiley & Sons, 1997.

Schmenner, Roger W. *Service Operations Management.* Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1995.

Shostack, G. Lynn. "Designing Services That Deliver." *Harvard Business Review* 62 (enero-febrero de 1984): 133–139.

Thesen, Arne, y Laurel E. Travis. *Simulation for Decision Making.* St. Paul, MN: West Publishing Company, 1992.

Winston, Wayne L. *Simulation Modeling Using @RISK.* Belmont, CA: Duxbury Press, 1996.

CAPÍTULO 14

FABRICACIÓN O MANUFACTURA JUSTO A TIEMPO (JIT)



Introducción

La filosofía de la manufactura justo a tiempo

Requisitos para la manufactura justo a tiempo

Elementos de la manufactura justo a tiempo
- *Eliminación del desperdicio*
- *Solución obligada de los problemas y mejora continua*
- *Las personas hacen que funcione JIT*
- *Administración de la calidad total*
- *Procesamiento paralelo*
- *Control de producción Kanban*
- *Compras justo a tiempo*
- *Disminución de los inventarios a través de una reducción de la preparación y puesta en marcha de la maquinaria*
- *Trabajando hacia una manufactura repetitiva*

Beneficios de la manufactura justo a tiempo

Éxito y manufactura justo a tiempo

Recopilación: Lo que hacen los productores de clase mundial

Preguntas de repaso y análisis

Tareas en Internet

Problemas

Casos
- *Superior Manufacturing Company*

Notas finales

Bibliografía seleccionada

IPS SE SUMA A JUSTO A TIEMPO

Localizado en Everett, Washington, Intermec Printing Systems (IPS) es un fabricante de impresoras de códigos de barras, una industria con un crecimiento en unidades de 30% anual. Anteriormente, IPS tenía una línea de producción por separado para cada modelo de impresora que producía. Con el crecimiento que estaba experimentando la empresa y teniendo a la vista nuevos diseños de impresoras, la empresa estaba encontrándose ante una carencia de espacio de manufactura. Además, el procedimiento de fabricación de la empresa está dando como resultado un retrabajo frecuente de impresoras para obtener configuraciones especiales, un exceso de inventarios de productos terminados y una respuesta lenta a la demanda de los clientes.

A fin de mejorar su competitividad y redituabilidad, y con objeto de volver a establecerse como líder mundial en el negocio de códigos de barras, la gerencia de IPS decidió adoptar las técnicas de la manufactura justo a tiempo. Con la ayuda de asesores, IPS se embarcó en una transformación para crear un sistema de producción con corto plazo de entrega, bajos inventarios, elevada calidad del producto y rápida respuesta.

Después de haber enviado a todos sus empleados a seminarios de capacitación, IPS reunió datos y analizó cuidadosamente cada uno de los procesos de producción necesarios para la producción de sus impresoras. En lugar de utilizar una línea de producción por separado para cada modelo, IPS creó una línea de producción única de modelos mixtos para producir todos sus modelos de impresoras. La secuencia de producción de sus diferentes modelos, el tamaño de lote de cada uno de ellos y la cantidad de tarjetas Kanban necesarias quedaron establecidos en ese momento. Los empleados recibieron capacitación cruzada en múltiples tareas, permitiendo que se pudieran flexibilizar entre estaciones de trabajo, según lo demandaba el flujo de productos y que la administración cambiara dinámicamente la capacidad a lo largo de la línea de producción. Las tasas de remuneración a los empleados se basaron, en parte, en la cantidad de tareas en las que se habían capacitado.

También se capacitaron los empleados para efectuar inspecciones de calidad de cada uno de los procesos, limitando la cantidad de defectos que se dejaban seguir hacia adelante en la línea. Se crearon áreas de almacenamiento de materias primas en múltiples lugares cerca de la línea de producción, de manera que los materiales necesarios en cada estación de trabajo quedaran muy cerca de dicha estación. Estas áreas de almacenamiento se reabastecían frecuentemente, desde el almacén principal, por manejadores de materiales mediante un sistema Kanban de dos recipientes.

Los resultados han sido excepcionales. IPS ha experimentado una reducción de 40% en espacio de manufactura, incluso después de haber introducido dos nuevos modelos. El inventario de productos terminados se ha reducido sustancialmente, siguiendo la meta de trabajar hacia un inventario cero de productos terminados, produciendo todos los productos sobre pedido. El retrabajo para configuraciones de tipo especial se ha eliminado de manera efectiva, ya que las impresoras pedidas sobre especificación del cliente se construyen desde el inicio según lo pedido. Las materias primas en el almacén se han reducido, ya que IPS ha trabajado para estandarizar los materiales utilizados y con sus proveedores para mejorar su calidad y recibe entregas más frecuentes de pedidos más pequeños. IPS está ahora dedicada a una mejora continua de sus operaciones.[1]

Como ilustra el relato anterior, muchas empresas están entusiasmadas por la manufactura justo a tiempo. En este capítulo estudiaremos la filosofía de JIT, cuándo podremos utilizar JIT, las interrelaciones de JIT y sus ventajas. El *APICS Dictionary* define a **JIT** de la siguiente forma:

> *"Filosofía de manufactura basada en la eliminación planeada de todo desperdicio y una mejora continua de la productividad. Abarca la ejecución exitosa de todas las actividades de manufactura requeridas para producir un producto final, desde ingeniería de diseño hasta la entrega e incluyendo todos los estados de la conversión, desde la materia prima hacia adelante. Los elementos principales de justo a tiempo son tener sólo el inventario cuando éste se requiere, mejorar la calidad hasta llegar a cero defectos, reducir los plazos de entrega al reducir*

los tiempos de preparación y puesta en marcha, la longitud de las filas, el tamaño de los lotes y, adicionalmente, revisar las operaciones mismas y lograr todo esto a un costo mínimo. En el sentido más amplio, se aplica a todas las formas de la manufactura, taller artesanal y procesos, así como a las repetitivas."[2]

No todas las empresas utilizan el término justo a tiempo. IBM utiliza el término *manufactura de flujo continuo*, Hewlett-Packard lo llama *sistema de producción sin almacén y manufactura repetitiva*. General Electric lo nombra *administración a la vista*, Boeing *manufactura magra*, Motorola *manufactura de ciclo corto* y varias empresas japonesas simplemente utilizan el término *sistema Toyota*. Algunas empresas están utilizando el término *competencia basada en el tiempo* (TBC, por sus siglas en inglés).

LA FILOSOFÍA DE LA MANUFACTURA JUSTO A TIEMPO

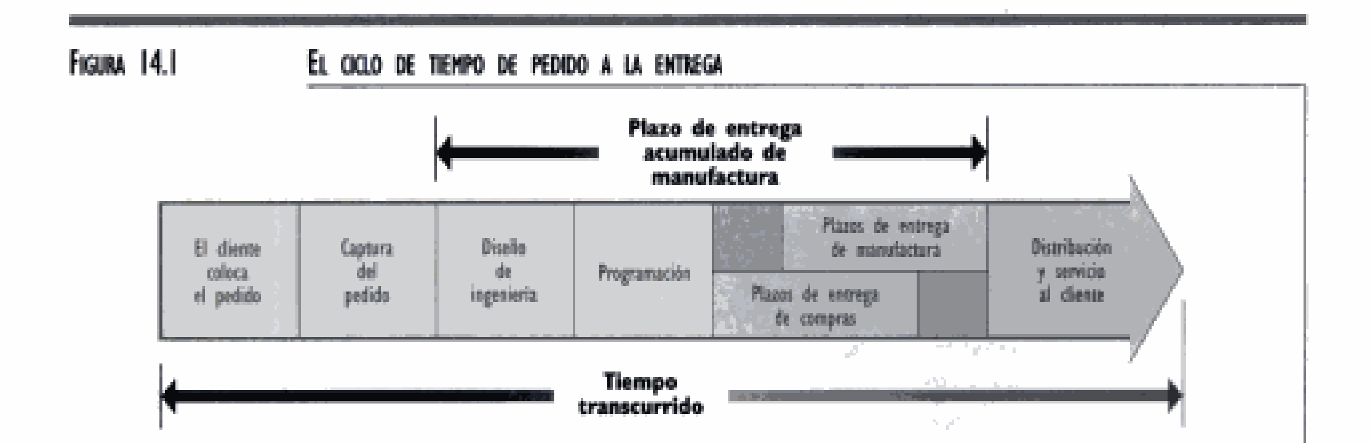
Los fabricantes estadounidenses están geográficamente localizados en medio del mercado más lucrativo del mundo. Esta ventaja les debería permitir vencer a la competencia con una respuesta rápida a las necesidades del cliente. Los éxitos de las empresas extranjeras en los mercados estadounidenses han empujado a las firmas de ese país a reorganizar su pensamiento empresarial para enfatizar una rápida respuesta hacia los clientes, como un arma clave para ganar una penetración creciente en el mercado. Las empresas de Estados Unidos también desean encontrar maneras de hacer las cosas más aprisa, de manera que puedan tener más éxito en los atractivos mercados del extranjero, donde están en desventaja geográfica. "Durante años, las empresas manufactureras en Estados Unidos lucharon por proporcionar productos con el mayor valor al costo más bajo. Ahora, las empresas líderes proporcionan productos con el mayor valor al costo más bajo con el tiempo de respuesta más rápido. Una respuesta rápida a las demandas del mercado representa una ventaja competitiva poderosa y sostenible. Verdaderamente, el tiempo ha emergido como una dimensión dominante en la competencia global, cambiando de manera fundamental la manera en que compiten las organizaciones."[3] Ya no es suficientemente bueno para las empresas ser productores de alta calidad y bajo costo. Para tener éxito hoy, también deben ser los primeros en hacer llegar rápidamente productos y servicios al cliente. Empresas como Northern Telecom, Xerox, Hewlett-Packard, Toyota, Motorola, General Electric, Honda, Sony y Canon están utilizando justo a tiempo como un arma en la aceleración de la respuesta a los mercados. Para competir en ese nuevo entorno, **el ciclo de pedido a entrega** (tiempo transcurrido entre el momento en que un cliente coloca un pedido hasta que lo recibe) debe reducirse drásticamente. La figura 14.1 ilustra este concepto importante. Justo a tiempo es el arma de elección actual para reducir el tiempo transcurrido de este ciclo.

Desde el punto de vista tradicional de la manufactura, la utilización plena de la capacidad de producción era un objetivo clave, de manera que se produjeran más productos con menos trabajadores y máquinas. Este tipo de pensamiento llevó a grandes filas de inventarios en proceso espe-

JIT se utiliza para ayudar a reducir el tiempo transcurrido desde el momento en que se coloca un pedido, hasta el momento que se embarca.



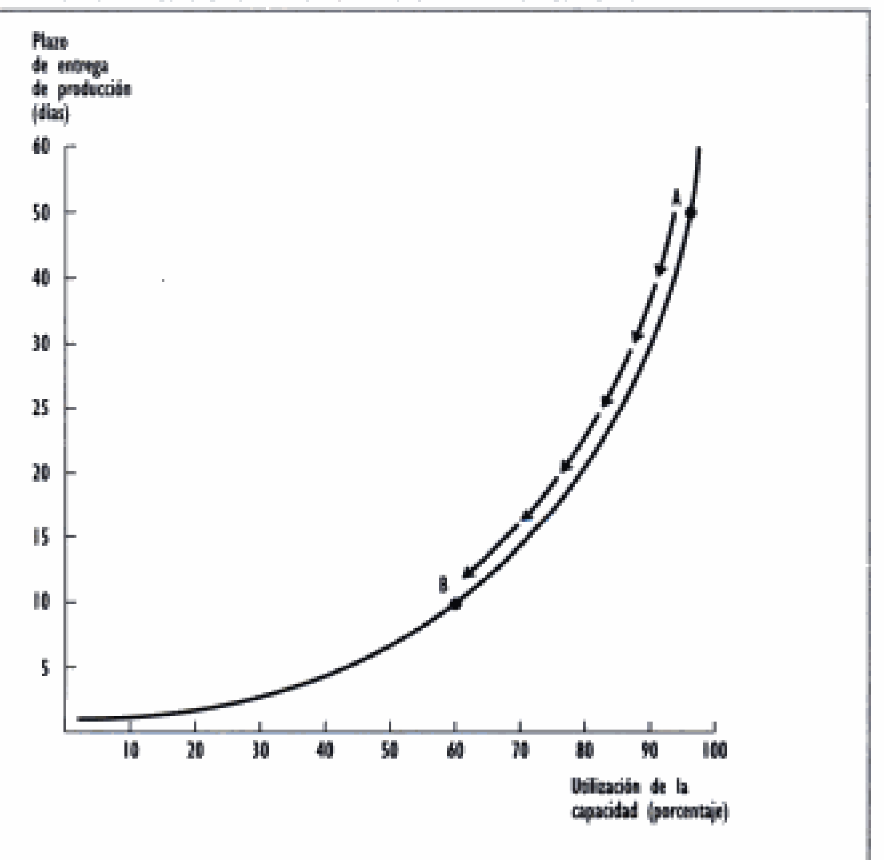
FIGURA 14.1 EL CICLO DE TIEMPO DE PEDIDO A LA ENTREGA



rando en los centros de trabajo de la manufactura. Largas filas significaba que máquinas y trabajadores nunca tendrían que esperar que productos parcialmente terminados llegaran a ellos; por lo tanto, la utilización de la capacidad era muy elevada y los costos de producción muy bajos. Desafortunadamente, grandes filas de inventarios en proceso también significaba que los productos ocupaban gran parte del tiempo de manufactura simplemente esperando. Con esta organización, las compañías que estaban mal equipadas podrían competir actualmente, basándose en el tiempo.

La figura 14.2 ilustra este tipo de pensamiento tradicional, que puede ser mortal para aquellas empresas que deseen utilizar la velocidad como arma. En esta figura, digamos que una empresa

FIGURA 14.2 UTILIZACIÓN DE ALTA CAPACIDAD: EL ENEMIGO DE LA COMPETENCIA BASADA EN EL TIEMPO



$$\text{Reducción en } \bar{n}_s = 144.6 - 48.0 = 96.6 \text{ trabajos}$$

Al incrementar el ritmo de producción de 12.083 trabajos a sólo 12.25 trabajos diarios, el WIP se ha reducido de 144.6 trabajos a 48 trabajos, es decir, una reducción de 96.6 trabajos.

Hoy, justo a tiempo comúnmente se considera como una innovación japonesa, ya que hace dos décadas Toyota popularizó este procedimiento. Sin embargo, quizás encuentre interesante que 50 años antes gran parte de las ideas incorporadas en justo a tiempo fueron combinadas e implementadas con éxito por una empresa estadounidense, Ford Motor Company, que puso en práctica este procedimiento en su planta de Dearborn, Michigan, donde se producían los Ford modelo T. En su libro de 1926 titulado *Today and Tomorrow*, Henry Ford presenta su procedimiento de producción, que es asombrosamente similar a justo a tiempo.[4] Ford describe como el mineral en bruto de hierro se descargaba de un barco, se transformaba en acero y se convertía en automóviles terminados, que se embarcaban a los clientes en un plazo de tiempo inferior a 48 horas. Independientemente del origen de justo a tiempo, este procedimiento para la producción consiste en un conjunto de ideas útiles que pueden ayudar a las empresas a convertirse en más competitivas.

Ahora, veamos cuáles son los requisitos para la manufactura justo a tiempo.

REQUISITOS PARA LA MANUFACTURA JUSTO A TIEMPO

La idea fundamental de justo a tiempo es bastante sencilla: reducir drásticamente los inventarios de productos en proceso a todo lo largo del sistema de producción. De esa manera, los productos fluyen de los proveedores a la producción y a los clientes sin retraso, o con muy poco retraso o muy pocas interrupciones, a excepción del tiempo utilizado para producirse en los centros de trabajo de la manufactura. El objetivo principal de la manufactura justo a tiempo es reducir los plazos de entrega de la manufactura y esto se logra principalmente mediante reducciones drásticas en los productos en proceso. El resultado es flujo suave ininterrumpido de pequeños lotes de productos a todo lo largo de la producción.

La mayoría de las aplicaciones de JIT han ocurrido dentro de la manufactura repetitiva, en operaciones donde se producen lotes de productos estándar a elevada velocidad y un gran volumen, moviéndose los materiales en flujo continuo. Las fábricas de automóviles Toyota, donde puede haberse iniciado el concepto de JIT, son quizás el mejor ejemplo de su uso en la manufactura repetitiva. En estas fábricas, el flujo continuo del producto hace bastante simple la planeación y control de la producción y JIT funciona mejor en estas situaciones de piso de taller. Es raro el uso exitoso de justo a tiempo en talleres artesanales grandes, de trabajos muy complejos, donde la planeación y el control de la producción es extremadamente complicada. Talleres artesanales más pequeños y menos complejos han utilizado JIT, pero estas empresas han efectuado muchas modificaciones para cambiar las operaciones, de manera que se comporten de manera similar a la manufactura repetitiva. Analizaremos más al respecto en la siguiente sección.

De hecho, el ensamble de Highland Park Assembly de Ford, mostrado aquí en 1916, ponía en práctica algunas ideas incorporadas en justo a tiempo. El mineral de hierro en bruto se descargaba de un barco, transformaba en acero, convertía en modelos T terminados y se embarcaba al cliente, todo ello en un plazo menor de 48 horas.



JIT, no es gratis: deben ocurrir ciertos cambios en la fábrica y en la forma en que se administra, antes de que se puedan cosechar los beneficios. Entre estos cambios están:

1. Estabilizar los programas de producción.
2. Hacer las fábricas más enfocadas.
3. Incrementar la capacidad de producción de los centros de trabajo de la manufactura.
4. Mejorar la calidad del producto.
5. Hacer una capacitación cruzada de los trabajadores, de manera que adquieran múltiples habilidades y sean competentes en varios puestos.
6. Reducir las rupturas de equipo mediante mantenimiento preventivo.
7. Desarrollar relaciones a largo plazo con los proveedores para evitar interrupciones en los flujos de material.

En Toyota, por ejemplo, los **programas de producción** son a la vez **estables** y **nivelados**. El programa maestro de producción (MPS) está fijo para el primer mes y el MPS completo cubre un año. El programa de producción es exactamente el mismo en cada uno de los días del mes. Esto significa que los mismos productos se producen en las mismas cantidades y en la misma secuencia cada uno de los días del mes. Toyota divide la cantidad total a fabricar durante el mes de cada modelo de automóvil entre el número de días de trabajo del mes, con el objeto de obtener el volumen de ese modelo que se producirá todos los días. Incluso, si durante un mes fueran necesarias sólo unas cuantas unidades de un modelo en particular, algunas se ensamblarían cada uno de los días del mes. Con esto se consigue tener un mismo programa de producción diario durante todo el mes. Este procedimiento para el MPS simplifica la explosión de los componentes, el flujo de materiales y las asignaciones de trabajo a los trabajadores. Si la fabricación justo a tiempo ha de funcionar, son necesarios programas de producción estables y nivelados.

Otro requisito importante para la manufactura justo a tiempo es la necesidad de tener *fábricas más enfocadas*. Las fábricas especializadas son más fáciles de administrar y JIT se basa en la simplicidad de estas fábricas enfocadas.

Un requisito fundamental para JIT es incrementar la capacidad de producción de los centros de trabajo de la manufactura. La figura 14.2 muestra que, al incrementar la capacidad de producción, se reducen los plazos de entrega de la manufactura. Por lo general, la capacidad de producción se incrementa de dos formas: aumentando el ritmo de producción y reduciendo el tiempo de preparación y puesta en marcha de la maquinaria en los centros de trabajo. El ejemplo 14.1 mostró que incluso pequeños incrementos en el ritmo de producción en los centros de trabajo dan como resultado reducciones drásticas en los plazos de entrega de la manufactura. La capacidad de producción también se puede incrementar reduciendo el tiempo de preparación y puesta en marcha de la maquinaria en los centros de trabajo. El tiempo de preparación y puesta en marcha es el tiempo necesario para ajustar las máquinas, cambiar de materiales, cambiar la herramienta y hacer todo lo que sea necesario para pasar de producir un producto a producir uno nuevo en un centro de trabajo. Dado que la producción en un centro de trabajo se queda detenida mientras que éstos se modifican, la disminución del tiempo de preparación y puesta en marcha reducirá el tiempo de detención e incrementará la capacidad de producción. Como se puede ver en la figura 14.2, el incremento en la capacidad de producción da como resultado un flujo más rápido y más continuo del producto a través de la manufactura.

Al mejorar la calidad del producto, dar entrenamiento cruzado a los trabajadores, disminuir las rupturas del equipo mediante mantenimiento preventivo y al establecer un flujo confiable de materiales de los proveedores, se minimizan las interrupciones en la producción. Estudiaremos cómo mejorar la calidad del producto en el capítulo 17, Administración de la calidad, y en el capítulo 18, Control de calidad. También estudiaremos lo relativo a la capacitación cruzada de los trabajadores en el capítulo 16, Productividad, trabajo en equipo y delegación de autoridad, y lo que se refiere a mantenimiento preventivo en el capítulo 20, Administración y confiabilidad del mantenimiento. Dado que los trabajadores están capacitados en varios puestos, pueden pasar de uno a otro puesto, según sea necesario, para compensar cualquier desbalance en el flujo del trabajo que pudiera haber sido causado, ya sea por problemas de calidad o por descompostura de máquinas.

Teniendo estos factores presentes en la manufactura, tarde o temprano el éxito de JIT mejora de manera importante.

FIGURA 14.3 MANIFESTACIÓN DE PROBLEMAS DE PRODUCCIÓN AL REDUCIR INVENTARIOS



Pero todavía no ha terminado la tarea de eliminar los problemas de producción. Será necesario vigilar y seguir el estudio de áreas de posibles problemas para asegurar una mejora continua. Los fabricantes japoneses han practicado lo que ellos conocen como *kaizen*, objetivo de una mejora continua en todas las fases de la manufactura. Los gerentes pueden animar a los trabajadores a reducir los inventarios en proceso todavía un paso más, para ver si ocurre algún problema de producción, e identificar así una meta para que los trabajadores la eliminen. La preparación y puesta en marcha de la maquinaria se puede estudiar colaborando trabajadores y gerentes para reducir lo innecesario, de manera que la preparación y puesta en marcha de la maquinaria sea prácticamente instantánea. Desde hace tiempo, los fabricantes japoneses han utilizado el término SMED, siglas para *intercambio de troqueles en un minuto*, significando que su meta es que toda preparación y puesta en marcha de maquinaria tome menos de un minuto.

La mejora continua es central en la filosofía JIT y la razón clave de su éxito.

LAS PERSONAS HACEN QUE FUNCIONE JIT

Los negocios tarde o temprano tienen éxito o fallan debido a su gente y JIT no es excepción a esta regla. Dado que JIT es un sistema de resolución obligada de problemas, es esencial tener una fuerza de trabajo dedicada, comprometida a trabajar unida para resolver los problemas de la producción. La manufactura JIT, por lo tanto, tiene un fuerte elemento de capacitación y participación de los trabajadores en todas las fases de la manufactura.

En primer término y de la mayor importancia, es que en una organización deberá desarrollarse una cultura de confianza mutua y de equipo de trabajo. Los gerentes y trabajadores deben considerarse colaboradores comprometidos en el éxito de la empresa. Se alienta a los equipos de trabajo a que se reúnan en busca de soluciones a largo plazo de las causas de los problemas de producción. También se les alienta a que sugieran mejores maneras de hacer las cosas, desde pequeñas sugerencias hasta problemas de tipo estratégico. Junto con una cultura organizacional abierta y confiada, también debe desarrollarse una actitud de lealtad al equipo y de autodisciplina. Dado que los trabajadores están comprometidos en el éxito de la empresa, el equipo de trabajo —más que el trabajador individual— se convierte en el foco. Los trabajadores no son libres de actuar por sí mismos y de intentar cualquier manera de hacer su propio trabajo siguiendo cualquier estándar que puedan elegir; más bien, los métodos y estándares acordados por el equipo son los que prevalecen.

Otro factor importante, vital para el éxito de JIT, es la *delegación de autoridad* a los trabajadores. Esto significa que se les da autoridad para tomar la iniciativa en la solución de los problemas de producción. En vez de esperar la bendición de arriba, los trabajadores tienen autoridad para parar la producción en cualquier momento para asuntos como problemas de la calidad, mal funcionamiento de las máquinas, o preocupaciones de seguridad. Se alienta a los grupos de trabajadores a trabajar juntos para hacer que la producción arranque rápidamente de nuevo. Una vez identificados los problemas por los trabajadores, se les anima a que se reúnan durante los tiempos libres, an-

FIGURA 14.4 TARJETAS KANBAN

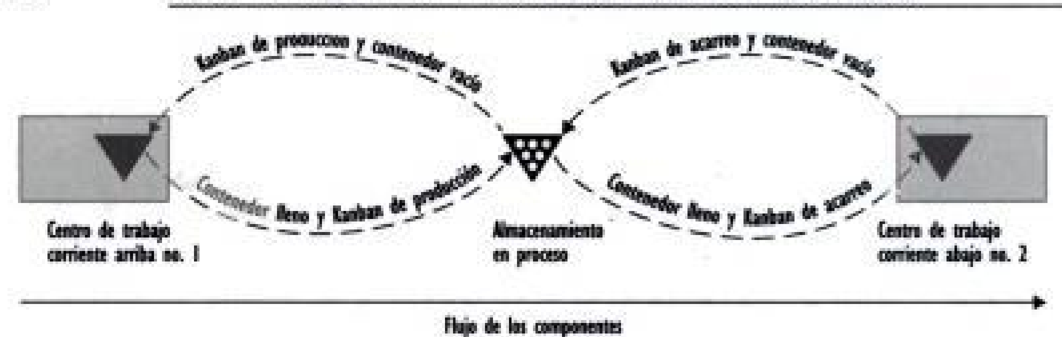
Tarjeta Kanban de acarreo

Cantidad de componente a producir: M471-36
Descripción del componente: carcaza de válvula
Tamaño de lote necesario: 40
Tipo de contenedor: reja roja
Tarjeta número: 2 de 5
Localización de almacenamiento de recuperación: NW53D
Del centro de trabajo: 22
Hacia el centro de trabajo: 35

Tarjeta Kanban de producción

Cantidad de componente a producir: M471-36
Descripción del componente: carcaza de válvula
Tamaño de lote a producir: 40
Tipo de contenedor: reja roja
Tarjeta número: 4 de 5
Localización de almacenamiento terminado: NW53D
Del centro de trabajo: 22
Hacia el centro de trabajo: 35
Material requerido
Material no. 744B — Localización de almacenamiento: NW48C
Componente no. 8238-5 — Localización de almacenamiento: NW47B

FIGURA 14.5 FLUJO DE LAS TARJETAS KANBAN Y DE CONTENEDORES ENTRE DOS CENTROS DE TRABAJO



prioridad (¿qué órdenes serán liberadas qué día, cuándo y en qué secuencia?) son rutinarias, por lo que la planeación y control del piso del taller se reduce a planear y controlar el movimiento de órdenes entre centros de trabajo. En esta situación sencilla de programación, las señales visuales y los Kanban son los únicos dispositivos necesarios.

La figura 14.5 ilustra la manera en que opera Kanban. Cuando un trabajador en el piso del taller en el centro de trabajo número 2 corriente abajo necesita un contenedor de componentes para su operación, hace lo siguiente:

capaz de acumular todas la herramientas, dispositivos, aditamentos y la primera porción del lote siguiente, juntos al lado de la máquina, listos para arrancar, incluso pudiera ser capaz de cargar la primera parte en el nuevo dispositivo que se colocará en la máquina cuando ésta quede libre. Estas acciones pueden reducir sustancialmente el tiempo durante el que la máquina no es productiva, durante el tiempo de cambio, con muy poco costo adicional.

Se pueden obtener discernimientos muy útiles sobre las reducciones en la preparación y puesta en marcha de la maquinaria a través del estudio de empresas que hayan implementado programas formales de reducción de preparación y puesta en marcha de la maquinaria. En uno de sus estudios de investigación, en la University of Virginia, John Leschke analizó los programas de reducción de preparación y puesta en marcha de la maquinaria en cinco empresas, en programas que abarcaban una duración de dos meses hasta cinco años. En una serie de dos artículos, Leschke proporciona detalles de los programas de reducción de la preparación y puesta en marcha de las compañías, y compara diferentes procedimientos para asignar inversiones a las actividades de reducción de la preparación y puesta en marcha de la maquinaria, para obtener el beneficio máximo. El lector interesado puede consultar dichos artículos.[6,7]

No sólo resultan bajos niveles de inventario de reducir costos de preparación y puesta en marcha de la maquinaria en JIT, sino también la empresa o la fábrica empieza a funcionar de una manera muy similar a un sistema de manufactura repetitiva.

Trabajando hacia una manufactura repetitiva

El *APICS Dictionary* define esta forma de producción como "la producción de unidades discretas, planeadas y ejecutadas de acuerdo a un programa, por lo general a una velocidad y un volumen relativamente elevados. El material tiende a moverse en flujo continuo durante la producción, pero varios elementos pudieran ser producidos de manera secuencial dentro de dicho flujo".[8] Se trata de una producción enfocada a producir lotes de productos estandarizados. Son sistemas en los cuales los productos fluyen continuamente a lo largo de una ruta directa, hasta que se terminan y en los que hay muy poco inventario en proceso y los componentes rara vez se dejan de mover. La manufactura repetitiva claramente no se refiere a la producción enfocada a procesos de productos especializados sobre pedido, que se presenta en talleres artesanales. Los proponentes de justo a tiempo alegarían que incluso en los talleres artesanales se puede hacer que se comporten más como si fueran una manufactura repetitiva.

Algunas empresas han trabajado duro para hacer que sus fábricas se comporten como una manufactura repetitiva. Entre lo que se puede hacer para modificar una fábrica para hacer más repetitiva su producción está:

- Reducir los tiempos de preparación y puesta en marcha y el tamaño de los lotes de producción.
- Modificar la disposición física de la fábrica para permitir flujos sin obstáculo de productos a través de ella.
- Convertir conjuntos de máquina dentro de disposiciones físicas enfocadas a procesos, a centros o celdas celulares de manufactura (CM). En CM, los grupos de máquinas funcionan como islas enfocadas al producto, dentro de una disposición más grande.
- Instalar sistemas flexibles de manufactura (FMS). Estos grupos de máquinas pueden aceptar una diversidad de productos sin necesidad de cambios de máquina ejecutados por trabajadores.
- Estandarización de componentes y sus diseños para reducir la cantidad de componentes y cambios.
- Capacitar a trabajadores en varios puestos. Esos trabajadores flexibles pueden pasar de un centro de trabajo a otro, según sea necesario, para balancear la carga de trabajo en la fábrica.
- Instalar programas de mantenimiento preventivo efectivos, de manera que las descomposturas de máquina no interrumpan el flujo de los productos.
- Instalar programas de control de calidad efectivos, de manera que los productos defectuosos no interrumpan el flujo de los productos.
- Desarrollar una red efectiva de subcontratantes, de manera que el flujo de materiales hacia el interior de la fábrica entre continuamente, para apoyar a los programas internos de producción, permitiendo así una producción sin interrupciones.

Incluso si una empresa no puede convertir todas sus operaciones a manufactura repetitiva, algunas secciones del sistema pueden ser repetitivas. Por ejemplo, aun cuando en muchos productos dise-

INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 14.3

ÉXITOS DE MANUFACTURA JUSTO A TIEMPO

Empresas como Corning, Eaton, General Electric, Motorola y Rubbermaid han reducido los inventarios implementando sistemas de planeación y control de la producción justo a tiempo (JIT), que reducen los niveles de inventario en todo el proceso de producción. No todos los fabricantes han adoptado justo a tiempo, pero incluso aquellos que no lo han hecho, han aprendido a vivir con menos inventarios. Las elevadas tasas de interés en los años 80, más otros costos de mantener inventarios, han hecho necesario que se lleven los inventarios mínimos. Además, tener inventarios inferiores tiende a mejorar la calidad del producto, a reducir los costos de producción y a aumentar la sensibilidad a las necesidades de los clientes. Robert W. Hall, profesor de administración en Indiana University, sostiene que las empresas en los 90 que no estén adoptando una administración de inventarios "simplemente se saldrán de los negocios. Si usted está compitiendo en un mercado mundial y no lo está haciendo, no será capaz de competir", y agrega "Malas prácticas de inventarios son factor contribuyente en gran cantidad de bancarrotas".

En los años 70, Chrysler Corporation utilizó nivelación de la capacidad con inventarios (producción para existencia). Acumuló vehículos para mantener las fábricas operando sin problemas, a pesar de oscilaciones en los pedidos. Cuando la demanda se redujo repentinamente, Chrysler tenía miles de sus vehículos esperando sin venderse en los patios de la empresa. Desde entonces, Chrysler ha hecho mejoras significativas, ha cambiado a planes de capacidad agregada que utilizan nivelación de la capacidad con pedidos pendientes (producir sobre pedido). Ahora construye automóviles a solicitud de las agencias o de los clientes. En su planta de Belvidere, Illinois, los inventarios de componentes se consumen, en promedio, cada 2.5 días de trabajo, un desempeño que coincide con los mejores fabricantes de automóviles, aunque todavía necesitan aproximadamente de dos semanas para fabricar un automóvil una vez que obtienen el pedido, más de dos veces el tiempo requerido en Japón.

En Corning, el programa justo a tiempo se inició con el lema "el inventario es perjudicial". Al comprender lo que hace que existan inventarios, las raíces de muchos problemas de producción de Corning quedaron al descubierto. Descubrieron que apenas 6% de su inventario era realmente inventario vivo, es decir, en uso en cualquier momento. En la planta de Irwin, Nueva York, de Corning, un inventario que ocupaba casi tanto espacio de planta como seis campos de fútbol ha desaparecido y también han desaparecido aproximadamente dos terceras partes del inventario de la fábrica. El servicio es ahora más rápido y los contactos con los clientes más cercanos. Un equipo de 16 personas, incluyendo 12 trabajadores por horas que estudian la calidad y los problemas de inventarios, localiza las causas de los problemas de producción. Los pronósticos han mejorado, y esto ha ayudado a las relaciones sindicales, dado que durante las depresiones en la economía no es necesario hacer tan a menudo reducciones en la fuerza de trabajo, con el objeto de compensar inventarios excesivos.

Fuente: "Firms' Newfound Skill in Managing Inventory May Soften Downturn". *Wall Street Journal*, noviembre de 1990, A1, A7.

no están ociosas tanto tiempo durante la preparación y puesta en marcha. Esto puede contribuir a un costo menor de mano de obra y bajo ciertas condiciones a una más elevada utilización de la capacidad de las máquinas.

- Trabajadores capacitados en muchos puestos. Pueden pasar de un trabajo a otro según se les requiera para balancear la carga de trabajo, lo que contribuye a una elevada utilización de los trabajadores y a un menor costo de mano de obra. En algunas empresas, los trabajadores no sindicalizados no están restringidos por reglas sindicales limitantes.
- Programas de seguridad en el trabajo para sus trabajadores. Una menor rotación de los empleados da como resultado una fuerza de trabajo más capacitada y menores costos de contratación y capacitación.
- Una fuerza de trabajo más joven. Los costos por cuidados a la salud y retiro son inferiores.
- Administración de la calidad total (TQM). Todos los trabajadores están involucrados y motivados para hacer que la empresa se convierta en un éxito a través de un producto de calidad perfecta.
- Redes de subcontratantes basadas en relaciones de confianza entre cliente y proveedor. Esos arreglos a largo plazo han resultado en continuidad en el suministro, mejor calidad de materiales suministrados y, a la larga, en menor costo de los materiales.
- Estilos de administración participativos. La actitud de los gerentes hacia los trabajadores y políticas benevolentes de personal de las compañías han tendido a desarrollar una coopera-

INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 14.4

MADURACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DE JUSTO A TIEMPO EN AMADAS

Cuando justo a tiempo se implementa por primera vez con éxito en una empresa, los beneficios por lo general son claros y parecen sustanciales. Pero al pasar los años se reduce la tasa de mejora. Para continuar mejorando en las operaciones, las empresas pueden adoptar otros procedimientos para mejorar su método justo a tiempo de manufactura. La evolución de las operaciones en Amadas ilustra este tipo de estrategia.

Amadas Industries of Suffolk, Virginia, manufactura maquinaria agrícola, incluyendo máquinas cosechadoras de cacahuate e irrigadores de tobera dura, así como maquinaria industrial, incluyendo equipo para el proceso de abonos hortícolas y el reciclaje de productos de desperdicio orgánico. Con aproximadamente 30 modelos de productos estándar, las máquinas agrícolas se construyen en lotes de 10 a 25 unidades y las máquinas industriales se construyen en lotes de una a tres unidades, que a menudo se fabrican sobre pedido.

En los años 90, Amadas decidió poner en práctica justo a tiempo. Se obtuvieron beneficios significativos en el costo de la mano de obra y mejoras en los plazos de entrega. Después de un par de años, continuaban los éxitos y los proyectos de mejora, pero era evidente que la cantidad de éxitos y de beneficios declinaba. Hacer cosas adicionales para reducir tiempos de preparación y puesta en marcha de la maquinaria, por ejemplo, hubiera resultado costoso y únicamente se hubieran obtenido mejoras marginales. Al principio esto fue preocupante para la administración, pero posteriormente se reconoció como una etapa normal del proceso de maduración de la manufactura justo a tiempo. Amadas había "recolectado lo mejor de la cosecha". La empresa necesitaba algún procedimiento para determinar cuáles proyectos ofrecían ahora el beneficio potencial más elevado y deberían ser puestos en práctica.

Después de estudiar diferentes libros sobre manufactura, la gerencia de Amadas decidió adoptar el procedimiento de la teoría de las restricciones (TOC) para analizar el sistema de producción. El objetivo principal del análisis del TOC es estudiar los cuellos de botella del sistema de producción que actualmente están limitando el caudal o ritmo de la producción. El análisis TOC identificó como restricción un soplete de plasma CNC. Posteriormente, se puso en práctica un proyecto de reducción de tiempo de cambio de máquina, para modificar el equipo de manejo de materiales que se estaba utilizando.

Otra restricción identificada por el análisis TOC fue el departamento de compras. Para mejorar una disponibilidad oportuna de los componentes adquiridos se estableció un sistema Kanban para partes compradas. Se hicieron arreglos con los proveedores y se colocaron tarjetas Kanban en los lugares de almacenamiento. Sigue la mejora continua como un esfuerzo permanente en Amadas, y tanto justo a tiempo como TOC están jugando papeles de importancia en este esfuerzo.

Fuente: Hobbs, Jr., O. Kermit. "Managing JIT Toward Maturity." *Production and Inventory Management Journal* 38, no. 1(primer trimestre de 1997): 47-50.

ción entre trabajadores y gerencia. Los que proponen este estilo de administración declaran que estos factores han resultado en trabajadores más comprometidos.

Probablemente jamás sabremos cuál de estos factores o combinación de ellos son los responsables del éxito de los negocios actuales, ya que todos se han combinado e integrado con justo a tiempo y resulta imposible aislarlos. Al final, justo a tiempo y los demás factores arriba enlistados forman un sistema total y una filosofía de manufactura y es más bien el total más que las partes la causa de su éxito. La Instantánea industrial 14.4 describe la forma en que otros procedimientos de mejora de la manufactura se pueden integrar en justo a tiempo, conforme una empresa madura la puesta en práctica de este procedimiento.

Una pregunta todavía sin respuesta es si todos los fabricantes estadounidenses deben adoptar la manufactura JIT. Para algunas de esas firmas, el medio principal de competir no es mediante plazos de entrega cortos. Para ellas, el costo y el esfuerzo de implementar JIT quizás no se justifique.

Puede tomar muchos meses, incluso años, cambiar la cultura fundamental de una empresa a una cultura equipada para entrar en la competencia basada en el tiempo. El compromiso de la organización, de abajo hasta arriba, es enorme, y estos programas no se pueden iniciar a la ligera, con la pretensión de probar otra nueva moda proveniente de la prensa empresarial. Justo a tiempo no funcionará hasta que se consiga una producción en pequeños lotes mediante programas, en toda la fábrica, con la finalidad de reducir tiempos de preparación y puesta en marcha de la maquinaria. También, a menos que las líneas de productos se depuren a través de una diferente estrategia comercial, la naturaleza no repetitiva de los procesos de producción funcionará contra justo a tiempo. A pesar de que MRP maneja extremadamente bien una gran diversidad de productos, JIT simplemente no funcionará en esas condiciones.

En su entusiasmo por obtener los beneficios de la manufactura justo a tiempo, los fabricantes estadounidenses no deben abandonar las características positivas de su sistema de producción, sin tener la seguridad de que los nuevos métodos les aportarán mejores resultados. Actualmente, algunos fabricantes de Estados Unidos aceptan elevados inventarios como el precio que deben pagar para lograr una elevada utilización de trabajadores y de máquinas. Aunque los fabricantes JIT han logrado una elevada utilización de trabajadores y máquinas sin inventarios altos, están pagando un precio distinto: invirtiendo grandes cantidades en estudios de ingeniería y en modificaciones al equipo para lograr tiempos de preparación y puesta en marcha de maquinaria básicamente reducidos, establecer programas de capacitación que preparen a los trabajadores en varios puestos, pagando sumas enormes en maquinaría de producción automatizada de alta tecnología y desarrollando diferentes estrategias comerciales con líneas de productos más escuetas, que permiten programas de producción estables y nivelados. A menos que los fabricantes estadounidenses estén dispuestos a comprometerse con este nuevo precio, en vez del antiguo de elevados niveles de inventarios, no pueden esperar cosechar los beneficios de justo a tiempo.

RECOPILACIÓN

LO QUE HACEN LOS PRODUCTORES DE CLASE MUNDIAL

Para muchas empresas, el nombre del juego es competencia basada en el tiempo. Para ellas, el medio principal de capturar su parte del mercado es a través de encontrar formas de encoger el ciclo de pedido a entrega. La manufactura justo a tiempo (JIT) es un sistema que acelera tanto la producción de los productos, que ninguna otra forma de producción puede competir. En la manufactura JIT, la cultura fundamental de la organización deberá modificarse, de una que enfatiza la utilización de la mano de obra y de las máquinas, a otra enfocada en la velocidad. Y la velocidad de producción se logra a través de una reducción drástica de los plazos de entrega de la manufactura.

Deben cumplirse ciertos requisitos antes de que justo a tiempo tenga la oportunidad de tener éxito. La producción debe ser una manufactura repetitiva o modificarse hasta el punto que se comporte como si lo fuera. Las productos deben moverse a través de la producción en un flujo continuo, sin detenerse en ningún paso. Los programas deben estabilizarse y nivelarse, y las empresas deben convertirse en más especializadas y enfocadas. Estos cambios hacen que la planeación y control de la producción sea lo suficientemente simple para permitir que funcione justo a tiempo. Además, deben implementarse costosos programas para incrementar la capacidad de producción mediante el incremento del ritmo de producción y la reducción de los tiempos de preparación y puesta en marcha de la maquinaria. Adicionalmente, los programas deben eliminar los defectos de los productos y las descomposturas de las máquinas como fuente de interrupción de la producción. Para hacer frente a eventos o sucesos inesperados, los trabajadores deben tener capacitación cruzada, de manera que puedan realizar varias tareas.

Todos los elementos de JIT son esenciales: la eliminación del desperdicio, la solución obligatoria de los problemas, la elaboración de trabajo en equipo, la administración de la calidad total, el procesamiento paralelo, el control de la producción Kanban, las compras JIT y los programas continuados de reducción de inventarios para acercarse a una manufactura repetitiva.

La retribución es enorme para las empresas que pueden implementar con éxito un sistema de manufactura justo a tiempo. Los inventarios se reducirán drásticamente y el tiempo desde el pedido hasta la entrega se reduce de una manera importante, permitiendo utilizar la velocidad como un arma para la captura de una porción del mercado. Se mejora la calidad del producto y se reduce el costo del desperdicio. El trabajo en equipo y la flexibilidad de la organización permiten que estas empresas respondan a toda suerte de necesidades de los clientes, y dado que JIT está enfocado a la solución de los problemas de producción, las operaciones de manufactura estarán libres de obstáculos.

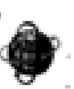
Grandes cantidades de fabricantes japoneses y estadounidenses han cambiado sus operaciones a JIT, pero tuvieron que invertir grandes sumas en estudios de ingeniería y en modificaciones al equipo para reducir drásticamente los tiempos de preparación y puesta en marcha de la maquinaria, en programas de capacitación para entrenar a los trabajadores en múltiples puestos y con nuevas estrategias comerciales con líneas de productos más limitadas que permiten programas de producción estables y nivelados. A menos que los fabricantes estén dispuestos a tomar ese tipo de compromiso organizacional, no pueden esperar cosechar los beneficios de JIT.

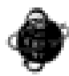
Las compañías que tienen exitosos programas JIT ya instalados están preparadas para enfrentarse en una competencia basada en el tiempo. Muchos creen que JIT representa una visión del futuro, donde la velocidad será un factor clave para ganar mercados en los mercados mundiales. Demasiadas empresas han cambiado ya a justo a tiempo para no tomarlo en consideración.

PREGUNTAS DE REPASO Y ANÁLISIS

1. Enliste algunos otros nombres para la manufactura justo a tiempo.
2. Explique el significado de competencia basada en el tiempo.
3. ¿Qué es el *ciclo de pedido a entrega*? ¿Cuáles son sus componentes?
4. Compare y contraste la filosofía de la manufactura tradicional con la manufactura JIT. ¿Cuáles son sus objetivos? ¿De qué manera los logran?
5. Explique la relación entre la utilización de la capacidad y los tiempos de entrega de la manufactura de la figura 14.2.
6. Enliste y explique los prerrequisitos necesarios para la manufactura justo a tiempo. Explique brevemente porqué cada uno de ellos es un requisito.
7. ¿Quién es Shingeo Shingo? ¿Cuál fue su contribución a la manufactura justo a tiempo?
8. Explique el significado de la figura 14.3, y descubra problemas de producción.
9. Explique los papeles de las personas en JIT. ¿Cuál es el significado de la delegación de autoridad de los trabajadores en justo a tiempo?
10. ¿Por qué es importante la administración de la calidad total (TQM) en JIT?
11. ¿Qué es procesamiento paralelo? ¿Por qué es deseable en justo a tiempo?
12. Explique brevemente la forma en que funciona Kanban en el piso de taller. ¿Qué son las tarjetas Kanban? ¿De qué manera se utilizan en Kanban?
13. Enliste y explique los componentes de las compras justo a tiempo. ¿Cuáles son algunos de los obstáculos para su total adopción por las empresas estadounidenses? ¿Cuáles son algunas maneras de superar esos obstáculos?
14. Explique lo que pueden hacer las empresas para reducir sus inventarios.
15. Explique algunas de las cosas que pueden hacer las empresas para hacer que sus operaciones se comporten más como manufacturas repetitivas.
16. Enliste y explique los beneficios de la manufactura justo a tiempo.
17. Explique la dificultad de identificar las razones para el éxito de las empresas que ya están utilizando la manufactura justo a tiempo.
18. ¿Deben la mayoría de las empresas estadounidenses adoptar la manufactura justo a tiempo? ¿Por qué?

TAREAS EN INTERNET





1. Visite una librería en línea como Amazon.com (**www.amazon.com**) y encuentre dos libros recientes sobre problemas relacionados con la manufactura justo a tiempo. Dé la ficha bibliográfica de cada uno de ellos.
2. Utilice Internet para encontrar un artículo de investigación reciente sobre Kanban en la manufactura justo a tiempo. Dé la cita bibliográfica del artículo.
3. Utilice Internet para encontrar un artículo de investigación reciente sobre reducciones de preparación y puesta en marcha de maquinaria (reducción del tiempo o del costo de preparación y puesta en marcha). Dé la ficha bibliográfica del artículo.

PROBLEMAS

1. Una operación de producción es un sistema de fila de un solo canal y una sola fase, de longitud ilimitada. Los productos le llegan a una tasa promedio de 25 por hora y el ritmo promedio presente de la producción es 27 productos por hora. La gerencia desea que los productos se queden en la operación un promedio de sólo 0.2 horas. ¿Cuál sería el nuevo ritmo promedio de la producción en la operación?
2. En el problema 1, ¿cuánto se reduciría el inventario de trabajo en proceso promedio (WIP) con el nuevo ritmo de la producción?
3. Una operación de producción es un sistema de fila de un solo canal, de una sola fase, de longitud ilimitada. Los productos llegan a la operación a una tasa promedio de 50 por hora y la producción automatizada fabrica productos a un ritmo constante de 55 productos por hora. Ingeniería puede modificar la maquinaría en la operación para incrementar la capacidad a un rit-

NOTAS FINALES

1. Giles, Christopher A., James J. King, Ryan C. Murphy, y Paul J. Roney, "Meeting Customer Demand Through Mixed-Model Manufacturing." *Production and Inventory Management Journal* 38, no. 2 (segundo trimestre de 1997): 82–87.
2. Cox, James F., III, John H. Blackstone, y Michael S. Spencer, eds. *APICS Dictionary*, 8a. edición, p. 42. Falls Church, VA: APICS—The Educational Society for Resource Management, 1995.
3. Blackburn, Joseph. "Time Based Competition: JIT as a Weapon." *APICS: The Performance Advantage* (julio de 1991): 30–34.
4. Ford, Henry. *Today and Tomorrow*. London: William Heinemann, Ltd., 1926.
5. Hall, Robert W. *Zero Inventories*, p. 37. Homewood, IL: Dow Jones–Irwin, 1983.
6. Leschke, John P. "The Setup-Reduction Process: Part 1." *Production and Inventory Management Journal* 38, no. 1 (primer trimestre de 1997): 32–37.
7. Leschke, John P. "The Setup-Reduction Process: Part 2—Setting Reduction Priorities." *Production and Inventory Management Journal* 38, no. 1 (primer trimestre de 1997): 38–42.
8. *APICS Dictionary*, 6a. ed. (Falls Church, VA: American Production and Inventory Control Society, 1987): 27.

BIBLIOGRAFÍA SELECCIONADA

Aggarwal, S. "MRP, JIT, OPT, FMS?" *Harvard Business Review* 66, no. 5 (septiembre-octubre de 1985): 8–16.

Blackburn, Joseph D. *Time Based Competition.* Homewood, IL: Business One Irwin, 1991.

Clinton, B. Douglas, and Ko-Cheng Hsu. "JIT and the Balanced Scorecard: Linking Manufacturing Control to Management Control." *Management Accounting* 79, no. 3 (septiembre de 1997): 18–24.

Cox, James F., III, John H. Blackstone, y Michael S. Spencer, eds. *APICS Dictionary,* 8a. edición. Falls Church, VA: APICS—The Educational Society for Resource Management, 1995.

DiBono, Paul. "Flow Manufacturing Improves Efficiency and Customer Responsiveness," *IIE Solutions* 29, no. 3 (marzo de 1997): 24–29.

Dixon, Lance, y Anne Millen Porter. *JIT II: Revolution in Buying and Selling.* Newton, MA: Cahners Publishing Co., 1994.

Ford, Henry. *Today and Tomorrow.* London: William Heinemann, Ltd., 1926.

Giles, Christopher A., James J. King, Ryan C. Murphy, y Paul J. Roney, "Meeting Customer Demand Through Mixed-Model Manufacturing." *Production and Inventory Management Journal* 38, no. 2 (segundo trimestre de 1997): 82–87.

Hall, Robert W. *Zero Inventories.* Homewood, IL: Dow Jones–Irwin, 1983.

Helms, Marilyn M. "Communication: The Key to JIT Success." *Production and Inventory Management* (segundo trimestre de 1990): 18–21.

Hobbs, O. Kermit, Jr. "Managing JIT Toward Maturity." *Production and Inventory Management Journal* 38, no. 1 (primer trimestre de 1997): 47–50.

Inman, R. Anthony, y Satish Mehra. "The Transferability of Just-in-Time Concepts to American Small Business." Interfaces 20, no. 2 marzo-abril de 1990): 30–37.

Journal of Production and Inventory Management. La mayoría de los artículos sobre JIT se encuentran en este manual.

Karmarkar, Uday. "Getting Control of Just-in-Time." *Harvard Business Review* 67, no. 5 (septiembre-octubre de 1989): 122–131.

Landry, Sylvain, Claude R. Duguay, Sylvain Chaussé, y Jean-Luc Themens, "Integrating MRP, Kanban and Bar-Coding Systems to Achieve JIT Procurement." *Production and Inventory Management Journal* 38, no. 1 (primer trimestre de 1997): 8–13.

Leschke, John P. "The Setup-Reduction Process: Part 1." *Production and Inventory Management Journal* 38, no. 1 (primer trimestre de 1997): 32–37.

Leschke, John P. "The Setup-Reduction Process: Part 2—Setting Reduction Priorities." *Production and Inventory Management Journal* 38, no. 1 (primer trimestre de 1997): 38–42.

Louis, Raymond S. *Integrating Kanban with MRPII: Automating a Pull System for Enhanced JIT Inventory Management.* Portland, OR: Productivity Press, 1997.

McLachlin, Ron. "Management Initiatives and Just-In-Time Manufacturing." *Journal of Operations Management* 15, no. 4 (noviembre de 1997): 271–292.

Minahan, Tim. "Dell Computer Sees Suppliers as Key to JIT." *Purchasing* 123, no. 3 (4 de Septiembre, 1997): 43–48.

Monden, Yasuhiro. *Toyota Production System: An Integrated Approach to Just-In-Time,* 3a. edición, GA: Engineering & Management Press, 1997.

Ohno, Taiichi, and Setsuo Mito. *Just-in-Time for Today and Tomorrow.* Cambridge, MA: Productivity Press, 1988.

Petroff, John N. *Handbook of MRP II and JIT: Strategies for Total Manufacturing Control.* Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1993.

Pierce, F. David. "Applying Just in Time to Safety and Health." *Occupational Health & Safety* 66, no. 4 (abril de 1997): 65–69.

Sakakibara, Sadao, Barbara B. Flynn, Roger G. Schroeder y William T. Morris. "The Impact of Just-In-Time Manufacturing and its Infrastructure on Manufacturing Performance." *Management Science* 43, no. 9 (septiembre de 1997): 1246–1257.

Schonberger, Richard J. *Japanese Manufacturing Techniques: Nine Hidden Lessons in Simplicity.* New York: Free Press, 1982.

Stalk, George, Jr. "Time—The Next Source of Competitive Advantage." *Harvard Business Review* (julio-agosto de 1988): 41–51.

Wantuck, Kenneth A. *Just-In-Time for America.* Southfield, MI: KWA Media, 1989.

Whitson, Daniel. "Applying Just-In-Time Systems in Health Care." *IIE Solutions* 29, no. 8 (agosto de 1997): 32-37.

Yasin, M. M., M. Small y M. A. Wafa. "An Empirical Investigation of JIT Effectiveness: An Organizational Perspective." *Omega* 25, no. 4 (agosto de 1997): 461–471.

Zipkin, Paul H. "Does Manufacturing Need a JIT Revolution?" *Harvard Business Review* (enero-febrero de 1991): 40–50.

ADMINISTRACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO EN MOTOARC

Motoarc es una empresa de productos electrónicos, aeroespaciales, maquinaria eléctrica, semiconductores y computadoras. Sus ventas anuales alcanzan 5,400 millones de dólares, y tienen plantas de manufactura en 17 estados de Estados Unidos y en otras 12 naciones. Emplean 284,000 personas en todo el mundo. Aunque las operaciones de Motoarc se habían expandido, sus funciones de compra, almacenamiento y embarque se habían rezagado con respecto a las demás unidades empresariales en lo referente a efectividad. A pesar de que se había instalado un sistema justo a tiempo, quedaron problemas con los materiales porque parecía que nadie se hacía responsable cuando se presentaban dificultades. Por ejemplo, el pedido reciente de un proveedor llegó tarde a la planta de Indianápolis de Motoarc. Compras culpó al almacén y a embarques; el almacén culpó al control de producción; control de producción culpó a almacén y a compras. Embarques arguyó que el transportista traspapeló el pedido durante varios días en Chicago retrasando, por lo tanto, la entrega. Cada una de las funciones apuntaban con dedo acusador a las demás. Debido a estas dificultades, Motoarc procedió a reorganizar todas las funciones de administración de materiales colocándolas bajo un vicepresidente de materiales, quien es responsable de todas las compras, logística, almacenamiento y seguimiento de los materiales en todas las divisiones. Ahora, cuando ocurre cualquier dificultad relacionada con materiales dentro de la empresa, el problema se detiene en el escritorio del vicepresidente de materiales.

Como ilustra el relato anterior, algunas empresas han reorganizado sus funciones de administración de materiales poniéndolas al mando de un ejecutivo de elevado nivel, responsable de todas las actividades relacionadas con el flujo de materiales en la empresa. Estos cambios organizacionales enfocan la atención de la gerencia en esta función y subrayan la importancia de administrar el flujo de materiales.

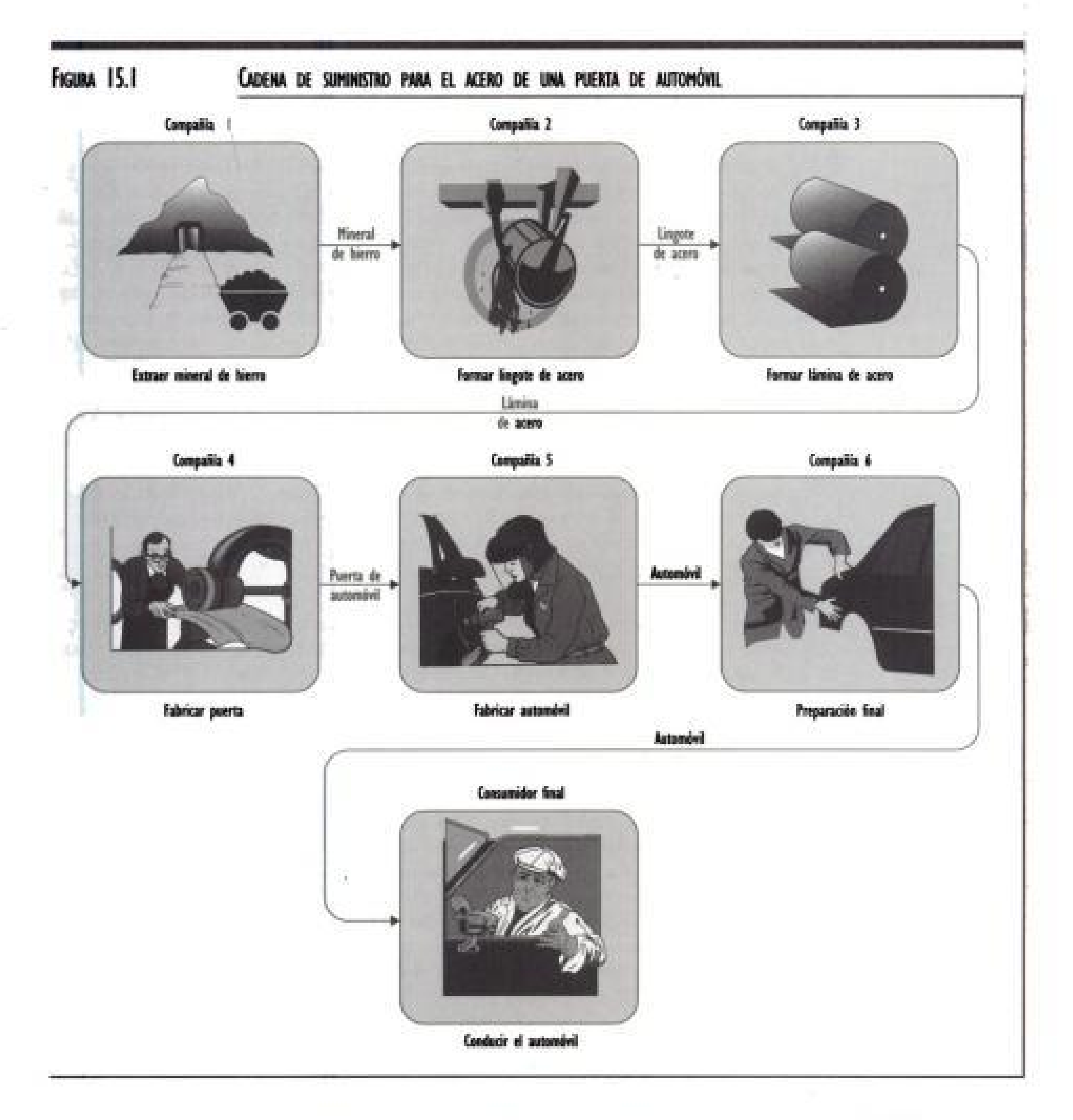
Los **materiales** son cualquier mercadería utilizada directa o indirectamente en la producción de un producto o servicio, por ejemplo las materias primas, las partes componentes, los ensambles y los suministros. En la mayoría de las empresas, *la organización de los materiales es vital para el éxito debido a que el costo de comprar, almacenar, mover y embarcar materiales representa más de la mitad del costo del producto. Básicamente, productividad significa reducir el costo de realizar el negocio, y en muchas empresas estadounidenses, si se ejecuta mejor la administración de materiales, cada vez más se considera como clave para una más elevada productividad.* Los gerentes de operaciones están trabajando arduamente para desarrollar mejores formas de administrar materiales, de manera que se puedan mejorar las entregas a tiempo, la calidad y los costos, y que sus empresas puedan sobrevivir en un mundo cada vez más competitivo.

ADMINISTRACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO

Reflexione en la forma en que los materiales fluyen de los proveedores a una empresa, a través de sus operaciones, y de ahí a sus clientes. Una perspectiva cada vez más popular es considerar el flujo de materiales de los proveedores hasta los clientes como un sistema que debe administrarse. Esta perspectiva se conoce comúnmente como *administración de la cadena de suministro*.

En su sentido más amplio, una **cadena de suministro** se refiere a la forma en que los materiales fluyen a través de diferentes organizaciones, empezando desde las materias primas y terminando con los productos terminados que se entregan al consumidor final. Por ejemplo, piense en el acero utilizado en una puerta de automóvil. Primero, una empresa minera excava en un terreno con mineral de hierro y de ahí extrae únicamente el mineral de hierro existente en la tierra. El mineral de hierro se vende a un alto horno, donde se procesa con otros materiales para formar grandes lingotes de acero. Los lingotes de acero se venden a una acería, donde se calientan y laminan en hojas grandes, delgadas y recocidas. Estos rollos de lámina se venden a un proveedor automotriz, que se especializa en la fabricación de puertas. La lámina de metal se corta, se troquela y se emplea, con otros ma-

FIGURA 15.1 CADENA DE SUMINISTRO PARA EL ACERO DE UNA PUERTA DE AUTOMÓVIL



teriales, para fabricar una puerta de automóvil completa. La puerta se vende al fabricante de automóviles, donde se ensambla con otros componentes, para producir un auto completo. El automóvil se vende a una agencia, que realiza algún trabajo de preparación final, por ejemplo, añadir molduras. Finalmente, el consumidor final adquiere el automóvil de la agencia, siendo éste el último eslabón de la cadena de suministro. La figura 15.1 ilustra esta cadena de suministro completa.

Las cadenas de suministro pueden formar redes completas, involucrando a muchas compañías y materiales. Un materia prima puede emplearse en muchos productos terminados diferentes, producidos por diversas empresas y un producto final por lo general se fabrica con muchas materias primas diferentes de proveedores distintos. Desde el punto de vista de la administración de operaciones para una empresa en particular, que se encuentre a medio camino en una cadena de suministro, sólo una porción de esa cadena será de interés y la empresa deberá administrarla, por lo que,

FIGURA 15.2 ADMINISTRACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO EN LA MANUFACTURA

Proveedores

Recepción e inspección

Almacenamiento de materias primas, componentes y en proceso

Producción

1

2

3

Almacenamiento de productos terminados

Inspección, empaque y embarque

Clientes

Administración de materiales

Compras

Control de la producción

Control de almacenes e inventarios

Embarque y tráfico

Nota: flujo físico de materiales ——▸

Flujo de información - - -▸

para la mayoría de las organizaciones, la **administración de cadena de suministro** se refiere a todas las funciones gerenciales y de administración relacionadas con el flujo de materiales de los proveedores directos de la empresa hasta sus clientes directos, incluyendo compras, almacenamiento, inspección, producción, manejo de materiales, embarques y distribución. La figura 15.2 ilustra las actividades de la administración de la cadena de suministro en una planta de manufactura.

El estudio del flujo de materiales: adquisición, almacenamiento, movimiento y procesamiento de materias primas, componentes, ensambles y suministros es una buena forma de comprender la manufactura. También, servicios como empresas de menudeo, de almacenamiento y de transporte se pueden considerar como sistemas de flujos de materiales. En estos sistemas, todas las funciones organizacionales están vitalmente afectadas por la planeación y control del sistema de materiales.

La **administración de materiales** y la **administración de la logística** son dos nombres alternos que a veces se utilizan para hacer referencia a la administración de la cadena de suministro.

FIGURA 15.3 ORGANIGRAMA DE LA ADMINISTRACIÓN DE MATERIALES

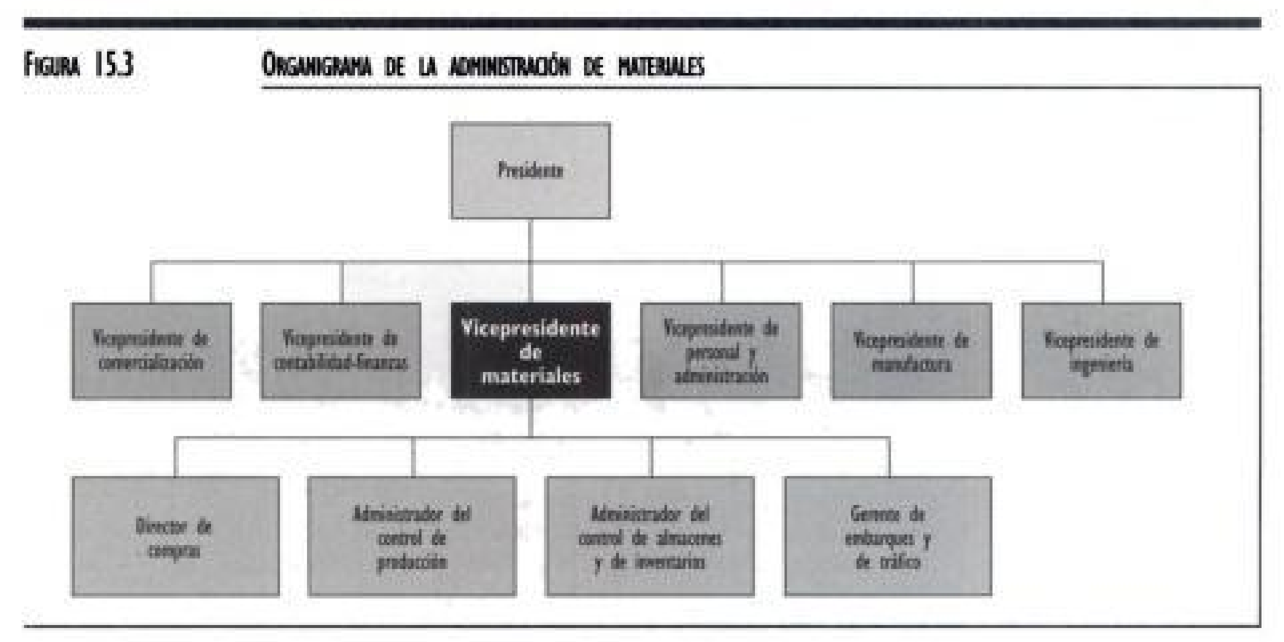
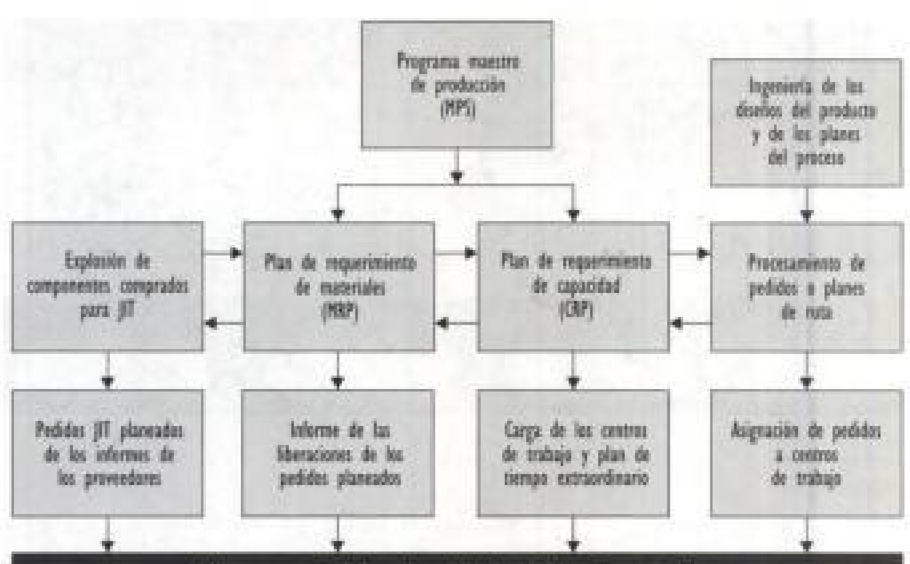


FIGURA 15.4 **VÍNCULOS ENTRE MPS, MRP, CRP, JIT Y LA ADMINISTRACIÓN DE MATERIALES**



Algunas actividades de administración de materiales

1. COMPRAS
   En *MRP*, el informe de liberación de pedidos planeados nos da un programa para pedir y recibir todos los materiales de los proveedores.
   En *JIT*, los pedidos planeados de los informes de los proveedores nos dan un programa aproximado de sus pedidos y una secuencia de elaboración del cliente, en la que se utilizarán los materiales.
2. EMBARQUES
   En *MRP*, el informe de liberación de pedidos planeados y las decisiones de programación generan un calendario para el embarque del pedido de los clientes. Los pedidos de compras basados en las liberaciones de pedidos planeados proporciona un calendario para la recepción de los pedidos de los proveedores.
   En *JIT* el MPS proporciona un calendario de embarques de pedidos de los clientes. Las órdenes JIT planeadas de los informes de los proveedores nos dan un panorama general del programa aproximado de las fechas de embarque para los pedidos, pero las comunicaciones cotidianas con los proveedores indican cuándo realmente se recibirán los pedidos.
3. CONTROL DE LA PRODUCCIÓN
   En *MRP*, el informe de liberación de pedidos planeados, el plan de ruta y las decisiones de programación generan un calendario para el movimiento de los pedidos entre los procesos de producción. Se emiten fichas de traslado para autorizar los pedidos de movimiento físico, de acuerdo con el plan de ruta.
   En *JIT*, el sistema Kanban controla la producción y los movimientos de los recipientes de componentes entre centros de trabajo.

La figura 15.3 ilustra cómo la función de administración de materiales encaja en muchas organizaciones actuales. Algunas empresas han centralizado sus diversas funciones de la administración de materiales en un solo departamento, encabezado por un gerente de materiales o vicepresidente de materiales. Esta función ejecutiva coordina todas las actividades de la administración de la cadena de suministro y acepta la responsabilidad total del suministro continuo de materiales a bajo costo y calidad especificada, donde y cuando los departamentos de operación y los clientes los requieran. La responsabilidad de los gerentes de materiales es inmensa, una realidad subrayada por sus típicamente elevados ingresos, entre los más altos en la industria.

Es importante reconocer la relación entre la administración de materiales y la planeación y control de producción. La figura 15.4 ilustra los vínculos entre MPS, MRP, CRP, JIT y otras actividades de administración de materiales. Note las diferencias en la manera en que se realiza la administración de materiales entre MRP y JIT.

En los sistemas MRP, el documento clave es el informe de liberación de pedidos planeados, que es un programa de cuándo deben enviarse a los proveedores los pedidos por materiales y cuándo los pedidos para la producción de los componentes y ensambles deben enviarse a los departamentos de producción internos. Ese informe nos da un programa para:

1. *Compras* para pedir y recibir materiales de los proveedores.
2. *Embarques* para embarcar los pedidos de los clientes y de los proveedores.
3. *Control de producción* para planear el movimiento de los pedidos entre centros de trabajo en producción. Las fichas de traslado autorizan el movimiento de los pedidos, de acuerdo con los planes de ruta.

En los sistemas JIT, los pedidos planeados de los informes de los proveedores dan al departamento de compras, al de embarques y a los proveedores un programa aproximado de cuándo serán necesarios los pedidos y la secuencia de elaboración del cliente, secuencia según la cual serán necesarios los pedidos en la planta del cliente. La sincronización de los embarques reales de los pedidos quedará determinada por las comunicaciones cotidianas entre cliente y proveedores. En JIT, un sistema Kanban controla la producción y el movimiento de los recipientes entre los centros de trabajo.

Las compras, la logística, el almacén y el seguimiento son cuatro actividades importantes en la administración de los materiales o en la administración de la cadena de suministro y forman el marco estructural para el estudio de la naturaleza y alcance de la administración de materiales.

COMPRAS

Los **departamentos de compras** adquieren materias primas, componentes, maquinaria, suministros y todos los demás bienes y servicios utilizados en los sistemas de producción, desde sujetapapeles hasta acero y computadoras.

IMPORTANCIA ACTUAL DE LAS COMPRAS

Varios factores están incrementando la importancia de las compras: el tremendo impacto de los costos de los materiales sobre las utilidades, la creciente importancia de la manufactura automatizada, la popularidad de la manufactura justo a tiempo y la creciente competencia mundial.

Aproximadamente 60% de los dólares de venta de los fabricantes se pagan a los proveedores por materiales comprados. Por ejemplo, los fabricantes de automóviles gastan aproximadamente 60% de sus ingresos en compras de materiales; los fabricantes de implementos agrícolas, más o menos 65%; los procesadores de alimentos alrededor de 70%, y las refinerías de petróleo cerca de 80% (estos porcentajes están creciendo).

Conforme sigue la automatización en la manufactura, dos desarrollos acrecentan la importancia de las compras. Primero, para muchas industrias de producción en masa se ha estimado que los costos por mano de obra representan sólo del 10 al 15% de los costos de producción. Algunos observadores estiman que en el futuro cercano, los costos por mano de obra se reducirán hasta aproximadamente 5% de los costos de producción. Se supone, por lo tanto, que en algunas industrias los costos de los materiales se convertirán en el foco central del control de costos de la producción. Segundo, la automatización requiere un control rígido del diseño, de los programas de entrega y de la calidad de los materiales comprados. En este escenario, las compras deben establecer y mantener relaciones con los proveedores para asegurar que se entreguen, en las cantidades correctas en el momento oportuno, materiales de diseño correcto y de perfecta calidad. Las compras podrían resultar una función clave de la organización, al afectar el éxito de la manufactura automatizada.

Con la popularidad de la manufactura justo a tiempo, los proveedores deben entregar los materiales en el momento preciso, en embarques pequeños y frecuentes, en las cantidades exactas y con una calidad perfecta. Estos requisitos de justo a tiempo ponen bajo gran presión a los departamentos de compras para planear, controlar y comunicarse precisa y cuidadosamente con los proveedores. La manufactura justo a tiempo ha hecho de los departamentos de compra actores clave en el éxito de las empresas de manufactura. No sólo se ha ampliado el alcance de las compras uti-

lizando justo a tiempo, sino que las posibilidades de error se han reducido prácticamente a cero. Posteriormente, en este capítulo analizaremos como se está modificando la evaluación y remuneración de los gerentes de compras y de su personal, por los sistemas justo a tiempo.

Con el incremento de la competencia mundial por la obtención de los mercados mundiales, todos los fabricantes están trabajando duro para reducir costos de producción. Una de las áreas más lucrativas de este esfuerzo es la reducción del costo de los materiales. Conforme se amplía el ámbito del negocio a proporciones globales, la compra de materiales se traslada al escenario mundial. Cada vez más los materiales se compran en todo el mundo, se transportan a sitios de manufactura domésticos y del extranjero y se embarcan a mercados en todo el planeta. Esta ampliada cadena de suministro se ha hecho necesaria para compensar una competencia creciente por materiales escasos. Pero el mayor alcance del suministro ha creado un entorno donde los materiales están más sujetos a un suministro incierto. Esto también ha aumentado la importancia actual de las funciones de compra.

A través de todo el ámbito económico los desembolsos anuales por materiales comprados es verdaderamente asombroso. Y aún así, los empleados de los departamentos de compra representan menos de 1% de la totalidad del personal de las organizaciones. ¿Se imagina algún grupo de empleados con mayor influencia, cuyo desempeño sea tan vital para el éxito de una compañía?

Misión de compras

El departamento de compras es un protagonista clave en el logro de los objetivos estratégicos de una empresa. Puede afectar la entrega rápida de productos y servicios, entregas a tiempo, costos de producción y la calidad de los productos y servicios, todos los cuales son elementos clave en la estrategia de las operaciones. *La misión de compras es detectar las prioridades competitivas necesarias para cada producto o servicio importante (bajos costos de producción, entregas rápidas y a tiempo, productos y servicios de alta calidad, así como flexibilidad) y para cada producto o servicio importante desarrollar planes de compra congruentes con la estrategia de las operaciones.* Un material, por ejemplo, debe incorporarse a un producto cuya estrategia de operaciones exige elevados volúmenes, producción para existencia y bajo costo de fabricación. Para este tipo de material, compras debe hacer énfasis en desarrollar proveedores que puedan producirlo a un costo muy bajo y en grandes cantidades. Por otra parte, otro material puede formar parte de un producto cuya estrategia exige bajos volúmenes, entrega rápida, elevada calidad y producción sobre pedido. Para este material, compras debe hacer énfasis en un tiempo de respuesta rápido de los proveedores, muy elevada calidad y programas de embarques confiables.

Lo que hacen los gerentes de compras

Al adquirir materiales, Compras:

1. **Mantiene una base de datos de los proveedores disponibles.** Esta base de datos incluye información sobre los tipos de productos que los proveedores fabrican o son capaces de producir, información sobre su calidad e información sobre su costo o precio. Un aspecto importante para el mantenimiento de esta base de datos es la necesidad de realizar investigaciones periódicas entre proveedores, que pueden incluir recorridos a las plantas para juzgar la capacidad del proveedor para cumplir con requisitos de entrega a tiempo, cantidad, calidad y costo.
2. **Selecciona proveedores para el suministro de cada material.** Esta selección normalmente estará basada en varios criterios. El precio es de importancia, naturalmente, pero la calidad, cantidad y prontitud en las entregas pueden tener una importancia igual o, incluso, mayor.
3. **Negocia contratos de suministro con los proveedores.** Esta actividad define las condiciones específicas a las que deben sujetarse los proveedores al suministrar los materiales. Generalmente se incluyen en estos contratos factores como precio, pago de cargos por flete, programa de entregas, estándares de calidad, especificaciones de producto o estándares de desempeño, y términos o condiciones de pago.
4. **Actúa como mediador entre la empresa y sus proveedores.** Cuando producción, ingeniería, contabilidad, control de producción o control de calidad necesitan comunicarse con al-

gún proveedor, estas comunicaciones por lo general deben pasar a través de compras; de manera similar, todos los proveedores se comunican con la empresa a través de compras.

En la mayoría de las organizaciones, compras se dedica a estas actividades, pero la ubicación del departamento de compras dentro de la organización varía de manera muy amplia.

DEPARTAMENTO DE COMPRAS EN LAS ORGANIZACIONES

El **gerente de compras** o el **agente de compras** pudiera reportar al presidente, vicepresidente de materiales, vicepresidente de operaciones, gerente de planta, gerente de materiales o cualquier otro. Es difícil generalizar respecto a dónde quedará asignada compras dentro de una organización, excepto que generalmente su nivel de responsabilidad estará directamente relacionada con la importancia de su misión. En otras palabras, si las compras son vitales para el éxito de una empresa, entonces esperaríamos ver que el departamento de compras fuera responsable ante un vicepresidente de materiales, vicepresidente de operaciones o incluso ante el presidente. En General Motors, el vicepresidente mundial de compras le reporta al presidente del consejo de administración.

Las organizaciones tienden a pasar a través de ciclos de centralización y de descentralización, y compras se involucra en estos ciclos. La actual tendencia hacia la centralización de compras probablemente se impulsa por adelantos tanto en las comunicaciones entre plantas y divisiones de las empresas, como en la capacidad de procesamiento de información de las computadoras. Entre las ventajas de la centralización están:

- Compras en cantidades mayores, lo que puede significar mejores precios.
- Más poder ante los proveedores cuando los materiales están escasos, los pedidos retrasados o se presentan otras dificultades en el suministro. Este poder se traduce en una mayor continuidad en las entregas.
- Departamentos de compra más grandes, que pueden permitirse una mayor especialización de los empleados. Por ejemplo, un comprador puede estar especializado en la compra de cobre. Esto puede conducir a tener compradores más competentes y menores costos de materiales.
- Combinar pequeños pedidos y, por lo tanto, reducir su duplicación, lo que puede reducir costos.
- Reducción de costos de transporte, al combinar pedidos y embarcar cantidades mayores.
- Un mejor control y una mayor consistencia general de transacciones financieras.

Independientemente de su ubicación organizacional, compras sigue ciertos procesos para la adquisición de materiales.

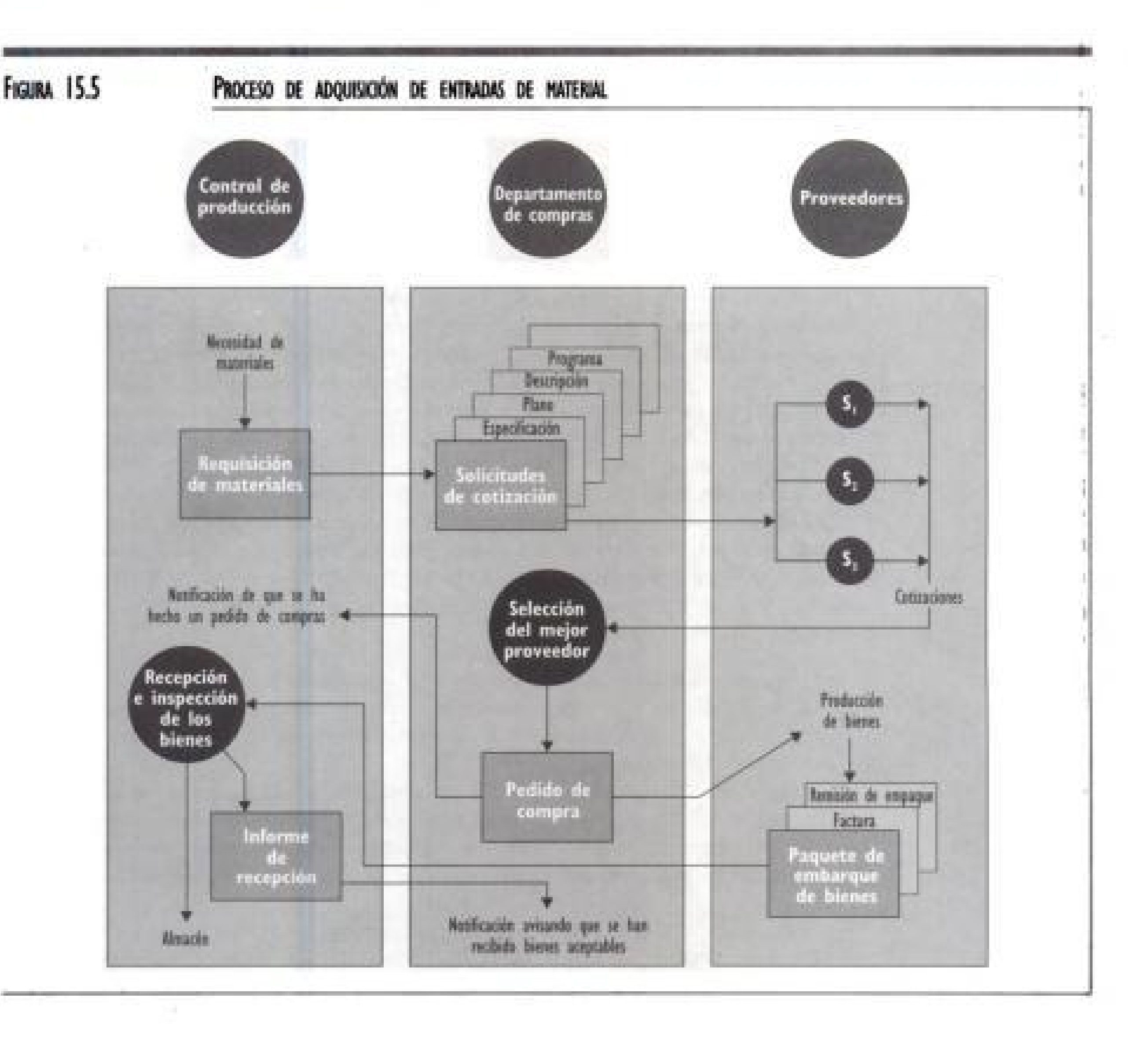
PROCESOS DE COMPRA

La figura 15.5 ilustra el proceso de la adquisición de materiales en sistemas de producción. La figura enfatiza la interacción de los departamentos de producción, departamento de compras y proveedores. Entre organizaciones, así como entre diferentes tipos de bienes, existe alguna variación en estos procesos.

Instrumentos básicos de compras Las herramientas cotidianas de los departamentos de compras son las especificaciones de materiales, las requisiciones de compra, las solicitudes de cotización y los pedidos de compra. Estos instrumentos son fundamentales para los procesos de compra.

El departamento de compras debe poseer una descripción detallada de cada uno de los bienes que se deban adquirir, conocida como **especificación de material**. Estos instrumentos pueden incluir descripciones tales como plano de ingeniería, análisis químico, características físicas y otros detalles, dependiendo de la naturaleza del material. Una especificación de material se origina en el departamento que lo solicita para su operación. Las especificaciones de material son el medio fundamental de comunicar cuáles son los materiales que la producción desea que adquiera compras y qué es lo que compras autoriza suministrar a sus proveedores.

FIGURA 15.5 **PROCESO DE ADQUISICIÓN DE ENTRADAS DE MATERIAL**



Las requisiciones de compra se originan en el departamento que utilizará los materiales. Autorizan a compras a adquirir los bienes y servicios. Por lo general, las requisiciones incluyen la identificación de lo que se debe comprar, la cantidad, la fecha de entrega o programa de entrega solicitado, cuenta a la que se va a cargar el costo de la compra, lugar donde deben entregarse los bienes o servicios comprados y la aprobación del gerente con autoridad para aprobar la compra.

Las **solicitudes de cotización** se preparan en los departamentos de compra y se envían a los proveedores que se supone son capaces de cumplir con los requerimientos de costo, calidad y programas de los departamentos solicitantes. Estos instrumentos invitan a los proveedores potenciales a licitar o cotizar los bienes y servicios. Por lo general, estos formularios incluyen la especificación del material, cantidad de la compra, fecha de entrega o programa de entrega deseado, dónde deben entregarse los bienes o servicios y la fecha en que se hará la selección del proveedor. Las solicitudes de cotización por lo general solicitan lo siguiente de cada proveedor potencial: precio por unidad y precio total, información sobre si el proveedor pagará los cargos por fletes, descuentos en efectivo y otras condiciones de pago, fecha o programa de entrega y cualquier otra condición especial del proveedor.

Los pedidos de compra son los instrumentos de compra más importantes; son la base de la autoridad dada a los proveedores para producir los bienes y servicios, y representan la obligación

Los compradores eficaces deben conocer los procesos de manufactura de sus proveedores, así como los correspondientes de sus propias empresas.



del comprador de pagar los artículos. Existe un compromiso legal del comprador cuando se emite un pedido de compra en respuesta a la cotización de un proveedor; cuando se emite en ausencia de una solicitud de cotización, existe compromiso legal cuando el proveedor acusa recibo de aceptación de su pedido. Generalmente, estos formularios están diseñados para cumplir con los estándares de la National Association of Purchasing Managers, así como por la Division of Simplified Practice, del National Bureau of Standards. Los formularios de los pedidos de compra generalmente incluyen el número del pedido, la cantidad de bienes y servicios, las especificaciones del material, la fecha y ubicación de la entrega, las instrucciones de embarque y facturación, el precio unitario y el precio total, el descuento en efectivo y otras condiciones de pago, así como cualquier condición especial de la compra.

Estos instrumentos —especificaciones, requisiciones, solicitudes de cotización y pedidos de compra— forman el marco operativo para comprar bienes o servicios.

Los compradores y sus obligaciones

Los **compradores**, como su nombre lo indica, son quienes en los departamentos de compras se ocupan de comprar. Típicamente están especializados según las mercaderías. Por ejemplo, un comprador puede adquirir todos los metales ferrosos; otro, todos los metales no ferrosos, y otro más puede adquirir la maquinaria y herramientas. Esta especialización permite que los compradores se hagan expertos en las compras de sus mercaderías específicas. Para ser efectivos, los compradores deben conocer tanto los procesos de manufactura de sus propias empresas, como las de sus empresas proveedoras. Esto sólo es posible a través de una especialización, según el tipo de mercadería. Los compradores deben conocer sus mercados, el precio actual de las mercaderías y su disponibilidad. Adicionalmente, deben estar conscientes del costo y valor, y deben ser buenos negociadores que presionen constantemente para obtener el mejor precio posible de sus proveedores. También, es obligación conocer las leyes que rigen sus áreas de responsabilidad en la compra. Las leyes contractuales, la tergiversación y el fraude, las violaciones a las leyes de patente, las reclamaciones de daños

contra proveedores y las reglamentaciones de los embarques son sólo unas cuantas de las áreas legales que deben conocer los compradores. Éstos procesan las requisiciones de compra y las solicitudes de cotización, efectúan selecciones de proveedores, colocan pedidos de compra y hacen su seguimiento. Adicionalmente, negocian precios y condiciones de venta en pedidos abiertos, en los pedidos generales, en los ajustes a los pedidos de compra y todos los demás contratos de compra.

Análisis de fabricar o comprar

No todas las requisiciones por materias primas y componentes recibidas en el departamento de compras automáticamente se convierten en pedidos a los proveedores. A menudo, los departamentos de producción pueden fabricar internamente los componentes a un costo inferior, con una calidad superior y con entregas más rápidas de lo que sería posible si se compraran externamente. Por otra parte, dado que los proveedores pueden estar especializados en cierto tipo de producción, algunos componentes pueden comprárseles a un costo inferior, con una calidad superior y con plazos de entrega más rápidos de lo que pudiera ser posible si la empresa los fabricara internamente. Los compradores, con la ayuda de los departamentos de producción, rutinariamente realizan análisis de fabricar o comprar para materias primas y componentes que forman parte de los productos existentes. En estos casos, deben decidir entre la alternativa de fabricar un componente internamente o de comprar los componentes a proveedores externos. El ejemplo 15.1 ilustra un análisis de fabricar o comprar, en el que un gerente de operaciones debe decidir entre dos procesos de producción internos y la adquisición de la pieza de un proveedor. Este ejemplo sólo tiene un propósito: determinar si el costo de comprar el componente es inferior al costo de producción si la pieza se fabricara internamente. En la práctica, ese tipo de análisis debe estar acompañado por otras consideraciones. Por ejemplo, ¿qué alternativa ofrece la mejor combinación de costo de la pieza, calidad de producto y entrega a tiempo? Adicionalmente, existen otros problemas estratégicos involucrados en la obtención externa de los bienes. Por ejemplo, ¿qué grado de integración vertical es deseable? y ¿deben comprarse características competitivas que son propias de la empresa en el exterior?

Ejemplo 15.1

Una decisión de fabricar o comprar

Drasco es un fabricante mediano de bombas para campos petrolíferos. La empresa ha desarrollado un nuevo modelo de bomba de purga de alta presión de recuperación secundaria con un desempeño mejorado. Bonnie Nelson, gerente de ingeniería de procesos, está intentando decidir si Drasco debe fabricar o comprar la válvula de entrada controlada electrónicamente para la nueva bomba. Sus ingenieros han desarrollado las estimaciones siguientes:

	Fabricar (proceso A)	Fabricar (proceso B)	Comprar
Volumen anual	10,000 Unidades	10,000 Unidades	10,000 Unidades
Costos fijo/año	$100,000	$300,000	—
Costo variable/unidad	$75	$70	$80

a. ¿Debe Drasco fabricar la válvula utilizando el proceso A, fabricar la válvula utilizando el proceso B o comprar la válvula? **b.** ¿A qué volumen anual deberá cambiar Drasco de comprar a fabricar la válvula utilizando el proceso A? **c.** ¿A qué volumen anual deberá pasar Drasco del proceso A al proceso B?

Solución

a. Desarrolle el costo anual de cada una de las alternativas:

$$\text{Costo anual total} = \text{Costo fijo} + \text{Volumen (Costo variable)}$$
$$\text{Proceso A} = \$100{,}000 + 10{,}000\ (\$75) = \$850{,}000$$
$$\text{Proceso B} = \$300{,}000 + 10{,}000\ (\$70) = \$1{,}000{,}000$$
$$\text{Comprar} = \$0 + 10{,}000\ (\$80) = \$800{,}000$$

Si el volumen anual se estima como estable en 10,000 unidades, Drasco deberá adquirir la válvula.

b. ¿A qué volumen anual deberá Drasco pasar de comprar a fabricar la válvula, utilizando el proceso A (Q = volumen)?

$$\text{Costo total anual utilizando el proceso A} = \text{Costo total anual de comprar}$$
$$\$100{,}000 + Q(\$75) = Q(\$80)$$
$$\$5Q = \$100{,}000$$
$$Q = 20{,}000 \text{ unidades}$$

Drasco deberá pasar cuando el volumen anual sea superior a 20,000 unidades.

c. ¿A qué volumen anual deberá Drasco pasar del proceso A al proceso B (Q = volumen anual, TC = costo total anual)?

$$TC_A = TC_B$$
$$\$100{,}000 + Q(\$75) = \$300{,}000 + Q(\$70)$$
$$\$5Q = \$200{,}000$$
$$Q = 40{,}000 \text{ unidades}$$

Drasco debe pasar cuando el volumen anual sea superior a 40,000 unidades.

ÉTICA EN LAS COMPRAS

Un problema constante en los departamentos de compras es la cuestión de la ética en las compras. Los vendedores agobian a los compradores con invitaciones a restaurantes y bares, boletos a los estadios, fines de semana en centros recreativos e incluso, vacaciones de lujo. Estos intentos de ofrecer regalos a los compradores generan la pregunta de cuánto es demasiado. ¿En qué punto los presentes se convierten en no éticos e, incluso, ilegales? Los compradores tienen gran poder, a veces incluso sobre la vida o la muerte económica de los vendedores y de sus organizaciones. Lo que es más, los compradores no siempre están compensados equitativamente en relación con su responsabilidad, por lo que están presentes todos los ingredientes para la tentación.

Algunas empresas han establecido códigos estrictos respecto a la conducta de los compradores. Absolutamente ningún regalo para los compradores, no más de tres botellas en Navidad o ningún regalo que cueste más de 25 dólares por comprador por año son ejemplos de este tipo de reglas de conducta. Las políticas que cubren los regalos a los empleados de la empresa, sean o no compradores, ciertamente parecen aconsejables. Pero quizás más importante es una comunicación frecuente dentro de los departamentos de compras en relación con lo que constituye un **comportamiento ético**. La preocupación real aquí es que los compradores pudieran sentirse obligados por aquellos vendedores que les han hecho regalos y que pudieran no actuar dentro de los mejores intereses de sus propias organizaciones. La Instantánea industrial 15.1 ilustra este complejo problema, que puede empezar pequeño y crecer hasta llegar a enormes proporciones. No hay ninguna otra solución, excepto tener siempre abiertos los canales de comunicación y mantenerse por encima de los problemas para descartar tendencias indeseables antes que los problemas se hagan irreversibles. Generalmente, la mayoría de las empresas luchan por eliminar las comisiones, los sobornos desvergonzados y los regalos excesivos, que se definen con cuidado. Otra buena práctica es utilizar auditorías internas para asegurar un control organizacional continuado sobre la función de compras.

INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 15.2

GUÍAS DE ACCIÓN PARA UN COMPORTAMIENTO ÉTICO EN LAS COMPRAS

La National Association for Purchasing Managers (NAPM) ha desarrollado un conjunto de tres principios y 12 normas para ayudar a guiar el comportamiento ético en las compras. Estos son los principios:

1. Lealtad a su organización
2. Justicia para aquellos con quienes se trata
3. Fe en su profesión

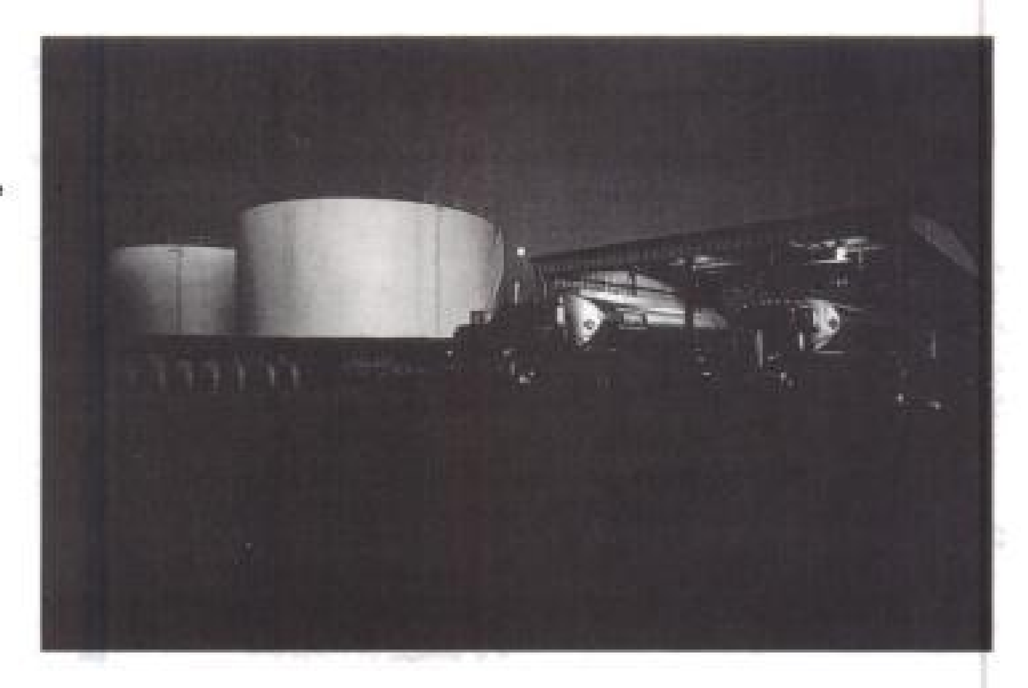
De estos principios se deducen las normas NAPM de las prácticas de compras (domésticas e internacionales).

1. Evitar en las relaciones, acciones y comunicaciones la intención y apariencia de una práctica no ética o comprometedora.
2. Demostrar lealtad al empleador siguiendo diligentemente sus instrucciones legítimas, con un cuidado razonable y usando sólo la autoridad que se le ha otorgado.
3. Abstenerse de cualquier negocio o actividad profesional privada que pudiera crear conflicto entre los intereses personales y los intereses del empleador.
4. Abstenerse de solicitar o aceptar dinero, préstamos o créditos o descuentos perjudiciales, así como la aceptación de regalos, entretenimiento, favores o servicios de proveedores presentes o potenciales, que pudieran influir, o aparentar que lo hacen en las decisiones de compra.
5. Manejar información confidencial o propiedad de los empleadores o proveedores con el debido cuidado y tomando en consideración ramificaciones éticas y legales, así como reglamentaciones gubernamentales.
6. Promover relaciones positivas con el proveedor a través de la cortesía e imparcialidad en todas las fases del ciclo de compra.
7. Abstenerse de acuerdos recíprocos que restringen la competencia.
8. Conocer y obedecer la letra y espíritu de las leyes que regulan la función de compras, y mantenerse alerta en las ramificaciones legales de las decisiones de compra.
9. Alentar a todos los segmentos de la sociedad a participar demostrando apoyo a negocios pequeños, en desventaja y propiedad de las minorías.
10. Desalentar la participación de compras en programas patrocinados por el empleador, sobre adquisiciones personales no relacionadas con el negocio.
11. Mejorar la eficiencia y la estatura de la profesión de compras al adquirir y mantener un conocimiento técnico actualizado, así como los estándares más elevados de comportamiento ético.
12. Realizar compras internacionales de acuerdo con las leyes, costumbres y prácticas de los países extranjeros, que no entren en conflicto con leyes propias, con su política organizacional y con estos estándares y guías de acción éticos.

Fuente: **www.napm.org/indexedfiles/member/ethics.html.** Reproducido con permiso del editor, The National Association of Purchasing Management, *Principles & Standards of Purchasing Practice*, adoptado en enero de 1992.

1. El **desarrollo y las relaciones con los proveedores** sufren cambios fundamentales. La naturaleza de las relaciones entre cliente y proveedor se desplaza de antagonista a cooperador.
2. Los departamentos de compra desarrollan relaciones a largo plazo con los proveedores, con tendencia a tener menos proveedores.
3. Aunque el precio es importante, los programas de entrega, la calidad del producto y la confianza y cooperación mutua se convierten en la base principal en la selección de proveedores.
4. Se alienta a los proveedores a extender los métodos justo a tiempo hacia sus propios proveedores.
5. Los proveedores, por lo general, están ubicados cerca de la planta de la empresa compradora, o en caso que estén a cierta distancia, por lo común están agrupados.
6. Los embarques se entregan directamente en la línea de producción del cliente.
7. Los componentes se entregan en recipientes pequeños de tamaño estándar, con un mínimo de documentación y en cantidades exactas.
8. El material entregado es de una calidad cercana a la perfección.

Vital para operaciones efectivas es la administración de los movimientos de los materiales entre plantas, el embarque de materiales de llegada de los proveedores y el embarque de productos de salida hacia los clientes.



Una vez comprados los materiales, los gerentes de materiales deben decidir cuál es el método menos costoso y más efectivo de embarcarlos a sus organizaciones. Similarmente, una cuestión vital es el embarque de los productos terminados a los clientes. Estos problemas son el núcleo de la importante actividad de administrar los materiales, es decir, de la logística.

Logística

A pesar de que a veces se define de una manera más amplia, por lo general, la logística se refiere a la administración de los movimientos de los materiales dentro de la fábrica, al embarque de los materiales enviados por los proveedores, y al embarque de productos de salida hacia los clientes.

Control de producción: movimiento de materiales dentro de las plantas

El control de producción incluye funciones como asignar fechas de entrega a pedidos, el programa maestro de producción, la planeación y control de piso de taller y la programación detallada de la producción. Aunque éstos y otros temas relacionados tienen elementos esenciales de administración de materiales, fueron analizados con cierto detalle en capítulos anteriores de este libro y, por lo tanto, no se analizarán aquí. El control de producción también incluye el movimiento de materiales dentro de las fábricas, mismo que consiste de las actividades siguientes:

1. Retirar los materiales de los vehículos de llegada y colocarlos en la plataforma de recepción.
2. Mover los materiales de la plataforma de recepción a la inspección.
3. Mover los materiales de la inspección al almacén y almacenarlos hasta que se requieran.
4. Recuperar los materiales del almacén y entregarlos a las operaciones de la producción, según se requiera.
5. Mover materiales entre operaciones de la producción.
6. Mover los productos terminados del ensamble final y almacenarlos en el almacén de productos terminados.
7. Recuperar los bienes terminados del almacén de productos terminados y entregarlos a empaque y embarque.
8. Mover los productos terminados empacados a la plataforma de embarque.
9. Cargar los productos terminados en los vehículos de salida en la plataforma de embarques.

El transporte de los materiales en los servicios incluye el tipo de movimientos descritos en los puntos 1 a 5, pero no normalmente el tipo de movimientos descritos del 6 al 9. Los materiales se transportan utilizando todo tipo de equipo, desde canastas a carretillas manuales, de bandas transportadoras a montacargas, transportes robotizados conocidos como sistemas de vehículos automáticamente guiados (AGBS, por sus siglas en inglés).

La administración de los movimientos de los materiales dentro de la fábrica puede involucrar decisiones sobre la forma de encaminar lotes de materiales entre departamentos. Todos estos movimientos de materiales están coordinados por el control de producción y son vitales para una administración efectiva de las operaciones.

Embarques hacia y desde las fábricas

Los **departamentos de tráfico** en las organizaciones rutinariamente examinan los programas de embarque y seleccionan los métodos de embarque, los calendarios y la forma de seguimiento de las entregas. Los costos de embarque para las organizaciones actuales representan una proporción tan enorme del costo que las plantas manufactureras, los almacenes y otras instalaciones se ubican con un objetivo prioritario: la minimización de los costos de embarque de entrada y de salida. A pesar de estos esfuerzos, los costos de embarque pueden llegar a representar aproximadamente 50% o más del precio de venta de algunos artículos manufacturados.

La enormidad de estos desembolsos ha hecho que las organizaciones se hagan de departamentos de tráficos con gerentes profesionales y analistas de operaciones, que continuamente están a la búsqueda de mejores técnicas de embarque. Además, muchas empresas se han lanzado al negocio de los transportes (lo que a veces se conoce como **integración vertical inversa o directa**) para reducir sus facturas por fletes.

La **administración del tráfico** es un campo especializado que requiere de una capacitación técnica intensa en los reglamentos del Department of Transportation (DOT) y de la Interstate Commerce Commission (ICC), así como de las **tarifas de fletes**. Este mosaico de reglamentaciones y tarifas forman las restricciones completas con las que tienen que trabajar los expertos en logística para atacar los costos de embarque, y deben conocer todos los detalles de este campo complicado y en continua modificación.

Administración de la distribución La **distribución**, a veces conocida como distribución física, es el embarque de los productos terminados a través del sistema de distribución hacia los clientes. Un **sistema de distribución** es una red de puntos de embarque y de recepción, que se inicia en la fábrica y termina con los clientes. Los embarques de bienes a través de los sistemas de distribución pueden o no quedar bajo el control directo del gerente de materiales. En algunas empresas, la responsabilidad de administrar el sistema de distribución se encuentra en la función de comercialización.

Planeación de los requerimientos de distribución (DRP) es la planeación del reabastecimiento de los inventarios de almacenes regionales utilizando una lógica del tipo MRP para traducir los requisitos de los almacenes regionales en requisitos del centro principal de distribución, lo que a su vez se traduce en requerimientos brutos en el MPS de la fábrica. El ejemplo 15.2 ilustra la lógica de planeación de los requerimientos de distribución.

Ejemplo 15.2

Planeación de requerimientos de distribución (DRP)

Una empresa tiene dos almacenes regionales que reciben productos de un centro principal de distribución ubicado en la fábrica. Los registros de punto de pedido sincronizados de DRP que se muestran abajo ilustran la forma en que la liberación de los pedidos planeados a la fábrica del centro quedan determinados para un producto en particular. Las liberaciones de pedidos planeados a la fábrica se convierten en los requerimientos brutos en el programa maestro de producción (MPS) de la fábrica.

Almacén regional #1

El plazo de entrega para el embarque de productos del centro principal de distribución en la fábrica al almacén #1 es una semana. La cantidad estándar de embarque es de 50 unidades, y la existencia de seguridad es de 10 unidades.

	Semana					
	−1	1	2	3	4	5
Demanda pronosticada (unidades)		30	40	30	40	40
Recepciones programadas		50				
Inventario final proyectado	60	80	40	10	20	30
Recepción planeada de embarques					50	50
Pedidos planeados para embarque				50	50	

Almacén regional #2

El plazo de entrega para embarcar productos del centro principal de distribución en la fábrica al almacén #2 es de dos semanas, la cantidad estándar de 60 unidades y la existencia de seguridad es de 15 unidades.

	Semana					
	−1	1	2	3	4	5
Demanda pronosticada (unidades)		70	80	50	60	50
Recepciones programadas		60				
Inventario final proyectado	110	100	20	30	30	40
Recepción planeada de embarques				60	60	60
Pedidos planeados para embarque		60	60	60		

Centro principal de distribución en la fábrica

El plazo de entrega por ensamble final para el ensamble final de los productos y para pasarlos al centro principal de distribución es de una semana, el tamaño del lote estándar de producción es de 200 unidades y la existencia de seguridad es de 40 unidades.

	Semana					
	−1	1	2	3	4	5
Requerimientos brutos (unidades)		60	60	110	50	
Recepciones programadas						
Inventario final proyectado	110	50	190	80	230	230
Recepción planeada de pedidos			200		200	
Liberación de pedidos planeados a la fábrica		200		200		

La planeación de recursos de distribución extiende la planeación de los requerimientos de distribución, de manera que los recursos clave de espacio de almacén, de cantidad de trabajadores, de efectivo y de los vehículos de embarque se tienen en la cantidad correcta y cuando se necesitan para satisfacer las demandas de los clientes.

Uso de la programación lineal para analizar las decisiones de embarque El ejemplo 15.3 ilustra la forma de determinar el plan mensual para el embarque de un producto de diferentes plantas a varios almacenes. El objetivo del ejemplo es minimizar los costos mensuales de embarque sujetos a la capacidad mensual de las plantas y a los requerimientos mensuales de los almacenes. Los ejemplos C4, C5 y C6 del apéndice C ilustran la manera en que estos problemas de transporte pueden resolverse manualmente utilizando el método de transporte de programación lineal.

EJEMPLO 15.3

MINIMIZACIÓN DE LOS COSTOS DE EMBARQUE EN STAR COMPUTER COMPANY

Star Computer Company produce computadoras personales en tres plantas y embarca sus productos a cinco almacenes regionales. La empresa desea desarrollar un plan para embarcar los productos de sus plantas a sus almacenes, de manera que se minimicen los costos de embarque mensuales. El costo de embarque por computadora es:

	Almacén				
Fábrica	**Wichita**	**Dallas**	**El Paso**	**Denver**	**Houston**
Tulsa	$31	$39	$43	$41	$46
Austin	49	21	33	52	26
Denver	29	39	36	15	63

Las fábricas tienen la siguiente capacidad mensual de computadoras: Tulsa, 50,000; Austin, 60,000 y Denver, 40,000. Los almacenes necesitan, por lo menos, las siguientes cantidades de computadoras por mes: Wichita, 30,000; Dallas, 40,000; El Paso, 20,000; Denver, 30,000 y Houston, 20,000. Utilice *POM Computer Library* para resolver este problema de transporte.

a. ¿Cuántas computadoras deberá embarcar Star de cada fábrica a cada almacén, para minimizar los costos mensuales de embarque?
b. ¿Cuál será el costo total de embarque mensual si se sigue el plan de embarque?

SOLUCIÓN

a. Utilizando *POM Computer Library* encontramos que deberán hacerse los siguiente embarques mensuales:

	Almacén				
Fábrica	**Wichita**	**Dallas**	**El Paso**	**Denver**	**Houston**
Tulsa	30,000	0	10,000	0	0
Austin	0	40,000	0	0	20,000
Denver	0	0	10,000	30,000	0

b. El costo total mensual de embarque será de 3,530,000 dólares.

INNOVACIONES EN LA LOGÍSTICA

Los nuevos desarrollos están continuamente afectando a la logística. Los embarques por ferrocarril, los contenedores en barcos y otro métodos de embarque únicos son ejemplos de híbridos que han dado como resultado ahorros en fletes. Contenedores de menor peso, cargas unificadas, embarques parciales, tasas en tránsito, embarques consolidados, desregulación de las industrias de autotransporte y de fletes aéreos y los costos fluctuantes del combustible son ejemplos de los desarrollos que afectan a la logística hoy, y todos los días se presentan otros nuevos. La Instantánea industrial 15.3 analiza algunos nuevos conceptos interesantes en embarques. Con el frecuente uso de computadoras en las organizaciones actuales, hay información disponible al minuto sobre el estado de cada embarque. Además, en problemas de distribución complicados se puede utilizar la computadora para planear mejores redes de métodos de embarque. La Instantánea industrial 15.4 analiza un software que está ayudando a las empresas a administrar la cadena de suministro.

INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 15.3

INNOVACIONES EN LOS MÉTODOS DE EMBARQUE

Los ferrocarriles estadounidenses emplean 240,000 personas y embarcan enormes cantidades de material industrial. A continuación, damos porcentajes de algunas mercaderías industriales embarcadas por ferrocarril: carbón, 60%; automóviles, 67%; productos de papel, 68%; maderas, 53%; productos químicos, 53%; alimentos, 45%, y materiales para la construcción, 32%.[a] Los ferrocarriles están desarrollando nuevos servicios para sus clientes. El embarque de contenedores de autotransporte sobre carros de ferrocarril no es nuevo, pero una innovación se espera amplíe sus aplicaciones: empresas como J. B. Hunt, Schneider National y KLLM Transport Services están utilizando nuevos contenedores de autotransporte que se pueden utilizar en carretera y que se pueden apilar de dos en dos sobre carros de ferrocarril. Empresas de ferrocarril como Santa Fe Pacific, Union Pacific, Conrail, Norfolk, Southern y Consolidated Rail están rediseñando los carros de ferrocarril para aceptar estos nuevos trailers. Los ferrocarriles están construyendo nuevos patios intermodales cerca de Chicago, Dallas y Los Ángeles; algunos estados y el gobierno federal están modificando túneles y puentes para permitir carros de ferrocarril más grandes. Este procedimiento promete la reducción de los costos de embarque en un 30%, en comparación con el transporte por carretera. No sólo se reducen los costos de embarque, sino que en el proceso también se da algo de alivio a la escasez de conductores de camión. Muchos creen que entre más trafico se pueda transferir de las carreteras a los ferrocarriles, tendremos menos consumo de petróleo, menor contaminación, desgaste y uso de supercarreteras.[b]

Otra innovación en los embarques es el desarrollo de aeropuertos para todo tipo de fletes. Denver, Fort Worth y Huntsville (Alabama) ya los tienen. Ubicaciones en Kentucky, Carolina del Norte, Nebraska, Georgia, Washington, Arkansas, Nueva York, Ohio y Florida están considerando propuestas para la construcción de parques industriales de flete aéreo. El concepto no sólo es innovador, sino francamente revolucionario. En la parte central de estos parques habrá fábricas, veintenas de ellas que desean suministros y los desean rápidamente, debido al surgimiento de la manufactura justo a tiempo. Las fábricas estarán rodeadas por una telaraña de monorrieles y corredores de vehículos electrónicos que conectan las fábricas con un aeropuerto de pistas largas y serán la puerta de salida de las fábricas hacia los mercados mundiales. La organización será el epitome de la manufactura justo a tiempo, donde las bandas transportadoras lleven componentes del avión al piso de la fábrica y los productos terminados de regreso a las zonas de carga de los aeroplanos.[c]

Fuentes:

[a]"Shipping by Rail." *Bryan-College Station Eagle*, 17 de abril, 1991, 1A.

[b]"Shippers Prepare to Jump on Rail-Truck Combinations." *Wall Street Journal*, 29 de diciembre, 1992, B4.

[c]"All-Freight Airports, Touted as Way to Lure Firms." *Wall Street Journal*, 2 de diciembre, 1992, A1.

Parte integral de la logística son los métodos de almacenamiento de materiales y productos, una vez recibidos de los proveedores y antes de embarcarse a los clientes.

ALMACENAMIENTO

El **almacenamiento** es la administración de los materiales mientras están guardados. Incluye su custodia, distribución, ordenamiento y control para todos los materiales y productos terminados, desde el principio hasta el final del proceso de producción. Las instalaciones de almacenes pueden abarcar desde recintos pequeños hasta grandes instalaciones altamente mecanizadas.

OPERACIONES DE ALMACENAJE

El almacén se ocupa de materiales que apoyan directamente a las operaciones. Los primeros problemas que deben encararse es cuándo colocar un pedido de cada material y cuánto pedir. Los pedidos se colocan y los embarques finalmente aparecen en el departamento de recepción, por lo general en trailers o carros de ferrocarril.

El almacenamiento es la administración de los materiales en custodia, antes de su embarque a los clientes.



de importancia, como la seguridad, las reglamentaciones gubernamentales, etc., los almacenes se hacen cargo y mantienen recintos de almacenamiento en diversos puntos dentro del sistema de producción.

En los sistemas que utilizan disposiciones físicas de productos, donde el material se mueve continuamente por las instalaciones, es raro el almacenamiento de inventarios en proceso y, por lo tanto, la producción conserva el control de los materiales en proceso hasta que se convierten en productos terminados. En ese momento, una vez transformados los materiales en productos terminados, se entregan al almacén correspondiente.

La contabilidad dentro del almacén requiere un **registro de almacén** por cada elemento que se conserva en inventario. El elemento individual se llama **unidad de almacenamiento** (SKU, por sus siglas en inglés). Los registros de almacén son cuentas corrientes que muestran el saldo disponible, las recepciones, las salidas y cualquier otro cambio que afecte el saldo disponible utilizable para cada SKU. Además, los registros de almacén pueden mostrar las recepciones esperadas, promesas y asignaciones de SKU, aunque sigan en inventario. Las computadoras han permitido a los gerentes mejorar la precisión de estos registros, pues se asientan los cambios con mayor frecuencia, conforme ocurren y se tiene información instantánea sobre saldos disponibles.

Métodos de contabilidad de inventarios

Durante cientos de años, la contabilidad de inventarios se basó en los **sistemas de contabilidad periódica de inventarios**, es decir, en la actualización periódica de los registros manuales de inventario y en los inventarios físicos. Los registros de almacén se actualizaban al introducir periódicamente a mano (por lo general al finalizar cada día de trabajo) en tarjetas archivadas en charolas, la cantidad de unidades agregadas o retiradas del inventario. Si alguien deseaba saber la cantidad de unidades de un material en particular del inventario, iba a la charola de tarjetas, extraía la tarjeta del material del registro del almacén y leía al saldo del inventario de la última actualización. La precisión de estos sistemas dependía de la frecuencia con que se actualizaban los registros de inventario y la frecuencia con que la información de los registros se verificaba o corregía a través

de conteos físicos del inventario. Mientras más frecuente era la corrección y actualización de los registros de almacén, más precisa era la información sobre registros de inventario. Los conteos físicos del inventario anuales o de fin de año, en el cual se contaban físicamente los materiales dentro de los almacenes, eran tradicionales en muchas industrias. Algunas empresas todavía siguen utilizando ese tipo de contabilidad de inventarios, porque es más económico o es el único método factible de contabilizar el inventario.

Cada vez más, sin embargo, las empresas están utilizando **sistemas de contabilidad perpetua de inventarios**, en los cuales los registros del almacén se tienen en computadoras. En estos sistemas, en lugar de actualizarse periódicamente, se actualizan en el momento en que se reciben los materiales en el almacén o se entregan del inventario. Ha quedado prácticamente eliminado el retraso de tiempo entre la última actualización y los registros del almacén y el tiempo en que se tiene acceso a los registros para determinar el saldo del inventario. Sin embargo, estos registros también están sujetos a error y también deben verificarse o corregirse. Ahora se acostumbra utilizar un conteo cíclico para mantener la exactitud de los registros de almacén en los sistemas de contabilidad perpetua de inventarios.

El **conteo cíclico** es un esfuerzo continuado para contar físicamente la cantidad de unidades de cada material en inventario, comparando su total con el saldo que aparece en los registros de almacén y reconciliar la diferencia. El propósito doble del conteo cíclico es corregir los registros de los almacenes y, aún más importante, identificar problemas en todas las áreas de inventario e iniciar acciones correctivas. En el conteo cíclico, *cuando* se cuenta un material queda determinado por un programa de conteo para dicho material. Un material pudiera contarse cuando llega a su punto de pedido, cuando se recibe un embarque o en algún intervalo particular de tiempo.

Los materiales de elevado valor y de movimiento rápido tienden a contarse con mayor frecuencia, *pero la frecuencia en la que contamos un elemento del inventario (mensual, trimestral, etc.) deberá depender de dos factores: la historia de las imprecisiones de dicho elemento y las dificultades causadas si la cuenta no es precisa.* Un elemento que tenga una historia de conteos imprecisos y uno que cause grandes problemas en la producción si los conteos son imprecisos deberán contarse con mayor frecuencia. Los elementos de movimiento rápido que tengan conteos imprecisos, por lo general causan grandes dificultades en la producción, porque aparecen en los programas de producción con mayor frecuencia, y cuando lo hacen, la falta de precisión puede causar cambios de importancia en los programas maestros de producción, en el seguimiento, en pedidos divididos, en procedimientos de embarques de pánico, en costos adicionales de transporte y producción, y en confusión en el piso de la planta.

En el conteo cíclico, una cuadrilla especialmente capacitada de trabajadores cuenta algunos materiales todos los días laborables y los registros de almacén se verifican o se corrigen de manera continua. La meta final del conteo cíclico es reducir la inexactitud de los registros del almacén hasta un porcentaje muy pequeño. Dado que se estima que los sistemas MRP requieren de registros de almacén precisos en aproximadamente ±0.5%, el conteo cíclico es parte importante de los sistemas MRP. El ejemplo 15.4 ilustra una situación común asociada con el conteo cíclico.

EJEMPLO 15.4

CANTIDAD DE PERSONAL REQUERIDO PARA CONTEO CÍCLICO

Una empresa desea mejorar la precisión de los registros de almacén que se utilizan en su sistema MRP. Un asesor ha recomendado que todos los materiales de clase A se cuenten en promedio 24 veces al año, todos los materiales de clase B un promedio de seis veces anuales, y todos los materiales de clase C un promedio de dos veces por año. El asesor estima que un contador de ciclos experimentado y bien capacitado puede contar un promedio de 20 materiales diarios. Una empresa trabaja 260 días anuales, y ha determinado que tiene mil materiales A, 3,000 materiales B, y 6,000 materiales C. ¿Cuántos trabajadores se requerirían para realizar el conteo cíclico?

san que un pedido de materiales o productos esté atrasado o venga demasiado pronto. Ejemplo de este tipo de eventos son:

- Un cliente incrementó la cantidad de productos pedidos. El pedido ampliado ahora excede el inventario de productos terminados y deben producirse con rapidez productos adicionales.
- Un proveedor no embarca un pedido de materiales cuando lo prometió. Deben emplearse procedimientos de urgencia en los embarques a fin de tener los componentes en la planta a tiempo para evitar un faltante de existencias o la ruptura de los procesos de producción.
- Hay dificultades técnicas en partes que se están procesando en tratamientos térmicos. El lote debe transferirse rápidamente, antes que otros materiales, si no se desea que se retrase el proceso de recocido.

El seguimiento resulta necesario más a menudo debido a la incertidumbre presente en los sistemas de producción; la demanda del cliente, los tiempos de entrega de los materiales y los tiempos de proceso internos son apenas unas cuantas instancias de esta incertidumbre. La administración de materiales debe ser lo suficientemente flexible para enfrentarse a esta incertidumbre, reaccionando con rapidez cuando ocurre lo inesperado. El seguimiento lo efectúan periódicamente todos los empleados de administración de materiales y esta actividad ayuda a hacer más flexible las cadenas de suministro.

Algunos gerentes y sus organizaciones operan rutinariamente mediante una administración por crisis en la que se planea toda actividad. Este procedimiento de administrar es una excusa por mala planeación, malos procedimientos y mala administración, en general. Cuando el seguimiento se convierte en la actividad predominante en la administración de los materiales, algo está mal. Todo el mundo y todo sistema de producción comete errores y estos errores pueden crear la necesidad de seguimiento cuando los gerentes de materiales, los compradores, los gerentes de almacenes, el personal de logística y otros se equivocan en la cadena de suministros. Pero el seguimiento debe ser la excepción a la regla, no la regla.

El seguimiento completa el ciclo de los materiales, que se inicia con la adquisición de los mismos y concluye con la entrega de los productos terminados a los clientes. Los medios para cambiar procedimientos, ignorar políticas, llamadas telefónicas y cobrarse favores pasados, de inventar soluciones rápidas conforme ocurren y otras tácticas de seguimiento, son algunas de las formas importantes que hacen que los sistemas de materiales funcionen efectivamente y se obtenga la cantidad necesaria del material correcto en el lugar adecuado y en el momento preciso.

MARCAS DE REFERENCIA DEL RENDIMIENTO DE LOS GERENTES DE MATERIALES

Dada la importancia de la administración actual de los materiales, ¿de qué manera miden las organizaciones lo bien que los gerentes de materiales están haciendo su trabajo? La tabla 15.1 clasifica varios criterios en orden de importancia, que tradicionalmente las empresas han utilizado para evaluar a los gerentes de materiales. Estos criterios han sido importantes, y sin duda seguirán siéndolo, pero el movimiento hacia mercados mundiales, la competencia basada en el tiempo y la administración de la calidad total en las empresas estadounidenses ha hecho que aparezcan otros criterios. La tabla 15.2 enlista otros factores que están utilizando las empresas para evaluar la función de la administración de materiales.

PROVEEDORES EXTERNOS DE ADMINISTRACIÓN DE LA LOGÍSTICA

Una tendencia creciente entre las empresas de clase mundial es apoyarse en proveedores externos para la administración de la logística. Conforme intentan enfocarse más en sus capacidades centrales, muchas empresas están enviando fuera ciertas funciones comerciales, como por ejemplo el almacenamiento y la distribución. Empresas como Caliber Logistics y United Parcel Service ofrecen una diversidad de servicios logísticos y de asesoría a otras empresas. Como ejemplo, Dell Computer Corporation recientemente firmó un contrato con Caliber Logistics para operar su almacenamiento de productos terminados y su sistema de distribución cerca de Austin, Texas.

Se puede obtener una determinada cantidad de beneficios del uso de empresas externas de administración de la logística. Estas empresas pueden proporcionar sistemas de punta de información

TABLA 15.1 CLASIFICACIÓN TRADICIONAL DE LOS CRITERIOS DE DESEMPEÑO EN LA ADMINISTRACIÓN DE MATERIALES

Clasificación	Criterios de desempeño
1	El nivel y el valor de los inventarios a la mano
2	El porcentaje de pedidos que se entrega a los clientes a tiempo
3	La cantidad y severidad de los faltantes de almacén en los inventarios internos
4	Los costos anuales de materiales adquiridos de los proveedores
5	Los costos anuales del transporte de materiales de los proveedores y de los productos a los clientes
6	Los costos anuales de la operación de almacenes
7	La cantidad de quejas de clientes respecto a un mal servicio
8	Otros factores, como la redituabilidad y costos de manufactura

TABLA 15.2 DESEMPEÑO DE LA ADMINISTRACIÓN DE MATERIALES EN LAS EMPRESAS DE CLASE MUNDIAL

Criterios de desempeño	Todas las empresas	Empresas de clase mundial
Cantidad de proveedores por cada agente de compras	34	5
Cantidad de agentes de compra por cada 100 millones de dólares de compras	5.4	2.2
Costo de compra como un porcentaje de las compras	3.3%	0.8%
Tiempo requerido para realizar la evaluación de un proveedor	3 semanas	0.4 semana
Tiempo requerido para colocar un pedido a los proveedores	6 semanas	2.4 minutos
Porcentaje de entregas tardías	33%	2%
Porcentaje de defectos	1.5%	0.0001%
Cantidad de faltantes de materiales al año	400	4

Fuente: Business Week, 30 de noviembre, 1992, 72.

logística, precios negociados más bajos de transportistas y de espacio de almacén, y personal de logística muy capacitado. También pueden ayudar a diseñar un sistema logístico de máxima eficiencia para una compañía, en particular.



RECOPILACIÓN

LO QUE HACEN LOS PRODUCTORES DE CLASE MUNDIAL

Los productores de clase mundial ven la administración de la cadena de suministros como un elemento clave en la captura de partes crecientes de los mercados mundiales. Han dado a los ejecutivos encargados mayores y nuevas responsabilidades; estos gerentes planean y controlan todas las actividades relacionadas con los materiales que mueven de los proveedores a través de los procesos de producción, y a los clientes. La autoridad para el sistema de materiales, al residir en una sola función organizacional, enfoca y evita la situación anterior en la cual todos culpaban a los demás cuando se presentaban dificultades relacionadas con los materiales. Independientemente o no de que los productores de clase mundial centralicen la administración de materiales, ha cambiado la forma en que se administran.

Los productores de clase mundial están formando asociaciones con los proveedores para fabricar rápidamente productos de una calidad casi perfecta, precisamente cuando son necesarios y con muy poco inventario. Se está haciendo más común proporcionar a los proveedores información sobre cuándo se necesitan los pedidos de los clientes y capacitarlos en control de calidad y en técnicas de manufactura. Los proveedores se seleccionan y desarrollan con una visión a largo plazo hacia la mejora de la calidad del producto, entregas rápidas y sensibilidad a las necesidades del cliente. Aunque los precios son importantes, tener la capacidad de entregar suficiente material cuando es necesario, producir materiales de calidad excepcional y ser digno de confianza y cooperación es todavía más importante. Para garantizar seguridad a los proveedores y proporcionar incentivos para el desarrollo de confianza y cooperación, se utilizan contratos a largo plazo de varios años.

Se prefieren proveedores cercanos. Incluso si los pro-

	Embutido profundo interno	Adquisición del servicio de embutido profundo
Cantidad de piezas necesarias por año	15,000	15,000
Costo fijo por año	$55,000	0
Costo variable por pieza	$29.20	$33.50

Si la calidad y el desempeño en las entregas del producto son aproximadamente las mismas para las dos alternativas de fabricar o comprar, ¿debería la empresa adquirir el servicio de embutido profundo?

8. Un comprador está revisando cotizaciones de proveedores para un engrane. Planea ya sea colocar un pedido de 50,000 engranes del proveedor con la cotización más baja o fabricar engranes en las operaciones de manufactura de la empresa. Los datos de importancia para esta decisión de fabricar o comprar se encuentran a continuación. ¿Debería la empresa fabricar o comprar el componente?

Fuente del componente	Costo fijo por orden	Costo variable por unidad
Fabricar	$20,000	$19.89
Comprar	0	20.11

9. El director de administración de materiales en AC Corporation está revisando los planes del próximo año para el suministro de un componente que actualmente se está comprando a Diamond Ltd., en Corea del Sur. El componente es el módulo de memoria T1000 que se utiliza en muchos de los productos de AC. El director se pregunta si se podría ahorrar dinero desarrollando otro proveedor o si la empresa debería manufacturar el T1000 en alguna de sus propias plantas. El personal de análisis de compras del director ha desarrollado las estimaciones siguientes:

Fuentes de suministro para el T1000	Descripción del costo	Costo fijo anual	Costo variable por unidad
Diamond Ltd.	Herramental anual	$20,000	
	Inspección de trabajo		$ 0.26
	Embarque		3.95
	Precio de compra		21.88
Chicago West	Herramental anual	$55,000	
	Inspección de trabajo		$ 2.05
	Embarque		1.55
	Precio de compra		18.59
Planta propia	Herramental anual	$45,000	
	Inspección de trabajo		$ 0.95
	Embarque		0.75
	Precio de compra	5,000	20.50

El grupo de análisis de compras se ha enterado que la empresa necesitará aproximadamente 50,000 unidades T1000 el siguiente año:

a. ¿Qué fuente de suministro proporciona el menor costo para el próximo año?
b. ¿Cuantas unidades T1000 tendrían que adquirirse el año entrante, para que cada una de las fuentes resulte ser la de costo mínimo?

10. Neil Brockley, gerente de compras en Agrifoods Processing Company, debe decidir una estrategia de compras para el procesamiento de brócoli de este año. La estación de cosecha regional se iniciará dentro de cinco meses y Neil se encuentra ante tres alternativas de estrategias de compra. Una estrategia es que Agrifoods espere a que se inicie la cosecha, antes de intentar la adquisición de brócoli. Muchos pequeños granjeros esperan hasta la cosecha para venderlas. Otra estrategia es esperar tres meses, hasta que la mayoría de los granjeros hayan plantado sus campos de brócoli. Llegado este momento, Agrifoods podría negociar contratos con varios gran-

jeros medianos para adquirir sus cosechas. La tercera estrategia de compras es negociar de inmediato un contrato con la Northern California Growers Cooperative. Neil ha estimado los siguientes costos por libra y las posibilidades asociadas con cada estrategia de compras.

	Probabilidad	Costo por libra
Pequeños granjeros	0.20	0.45
	0.25	0.60
	0.35	0.75
	0.20	0.95
Granjeros medianos	0.25	0.55
	0.40	0.75
	0.35	0.85
Cooperativa	0.40	0.70
	0.60	0.75

a. Utilice un árbol de decisión para analizar las alternativas de decisión (*sugerencia*: repase el ejemplo 7.1).
b. ¿De qué manera deberá adquirir Agrifoods el brócoli?
c. ¿Cuál será el costo por libra esperado para el brócoli, si Agrifoods sigue su recomendación?
d. ¿Qué otros factores deberán tomarse en consideración en esta decisión de compra?

11. Nevada Cryogenics (NC) desea presentar una propuesta a la National Science Foundation para obtener un contrato para investigar aplicaciones de criogenética en agricultura. NC está considerando tres niveles alternativos de patrocinio solicitado para licitar, y estima de la siguiente manera la probabilidad de ganar un contrato de investigación y el valor neto para la organización:

Nivel de patrocinio	Probabilidad de ganar el contrato de investigación	Valor neto del contrato de investigación
Alto	0.20	$750,000
Medio	0.50	375,000
Bajo	0.75	175,000

NC perderá 70,000 dólares si pierde el contrato de investigación. Si se recibe un contrato, NC espera que entonces podrá ser capaz de desarrollar un producto comercial con base en la investigación. El valor neto de un producto comercial exitoso se espera será de 400,000 dólares, pero NC necesitaría invertir aproximadamente 200,000 dólares para desarrollar un producto comercial con base en la investigación. Un producto comercial sin éxito no tendría ningún rendimiento. Si NC decide desarrollar un producto comercial, la probabilidad de que tenga éxito en el mercado se estima en 40%. NC solamente podría pensar en desarrollar un producto comercial si recibe un contrato de investigación.
a. Utilice un árbol de decisión para analizar las alternativas (*sugerencia:* repase el ejemplo 7.1).
b. ¿Qué cursos de acción recomendaría usted a Nevada Cryogenics?
c. ¿Cuál es el valor esperado para Nevada Cryogenics si sigue sus recomendaciones?
d. ¿Qué otros factores deberán considerarse en esta decisión de compras?

12. Un agente de compras en Bell Computers debe otorgar un contrato de suministro de tarjetas de video, ya sea a Matrix o a Advanced Video Graphics (AVG), que son dos grandes fabricantes de tarjetas de video para computadora. Bell planea utilizar un procedimiento justo a tiempo para el ensamble de sus computadoras, por lo que el proveedor de las tarjetas debe ser capaz de efectuar entregas pequeñas y frecuentes. Después de evaluar a los dos proveedores potenciales, el agente de compras ha preparado la siguiente información:

Almacén regional número 2

El plazo de entrega para el embarque de productos del centro principal de distribución de la fábrica al almacén número 2 es de dos semanas, la cantidad estándar de embarque es de 300 unidades y la existencia de seguridad es de 200 unidades.

	Semana					
	−1	1	2	3	4	5
Demanda pronosticada		150	250	200	240	200
Recepciones programadas		300				
Inventario final proyectado	350					
Recepción planeada de embarques						
Órdenes planeadas para embarques						

Centro principal de distribución en la fábrica

El plazo de entrega para el ensamble final de productos y para pasarlos al centro principal de distribución es de una semana, el tamaño del lote estándar de producción es de 500 unidades y la existencia de seguridad es de 200 unidades.

	Semana					
	−1	1	2	3	4	5
Requerimientos brutos (por unidades)						
Recepciones programadas		500				
Inventario final proyectado	250					
Recepción planeada de pedidos						
Liberación planeada de pedidos a la fábrica						

15. Los productos se embarcan de la planta de una fábrica a dos almacenes regionales. Los registros DRP que se dan a continuación indican la demanda pronosticada, las recepciones programadas y el inventario final del último periodo en unidades para un solo producto. Las liberaciones de pedidos planeados a la fábrica se convierten en los requerimientos brutos del programa maestro de producción (MPS) de la fábrica.
    a. Complete los registros DRP.
    b. De estos registros, ¿qué requerimientos aparecerán en el MPS de la fábrica?

Almacén regional A

El plazo de entrega para el embarque de productos del almacén en la fábrica al almacén A es de dos semanas, la cantidad estándar de embarque es de 250 unidades y las existencias de seguridad es de 150 unidades.

	Semana					
	−1	1	2	3	4	5
Demanda pronosticada		130	190	280	150	310
Recepciones programadas		250				
Inventario final proyectado	230					
Recepción planeada de embarques						
Pedidos planeados para embarque						

Almacén regional B

El plazo de entrega para embarcar productos del almacén en la fábrica al almacén D es de una semana, la cantidad estándar de embarque es de 150 unidades y la existencia de seguridad es de 80 unidades.

	Semana					
	−1	1	2	3	4	5
Demanda pronosticada		210	140	180	150	140
Recepciones programadas		150				
Inventario final proyectado	180					
Recepción planeada de embarques						
Pedidos planeados para embarque						

Almacén en la fábrica

El plazo de entrega para el ensamble final de los productos y para pasarlos al almacén de la fábrica es de una semana, el tamaño estándar del lote de producción es de 500 unidades y la existencia de seguridad es de 150 unidades.

	Semana					
	−1	1	2	3	4	5
Demanda pronosticada						
Recepciones programadas		500				
Inventario final proyectado	100					
Recepción planeada de embarques						
Pedidos planeados para embarque						

16. Un producto se embarca de un centro principal de distribución a tres almacenes regionales, y de ellos directamente a los clientes. Los registros DRP que se muestran abajo indican la demanda pronosticada, las recepciones programadas y el inventario final proyectado del último periodo.
 a. Complete los registros DRP.
 b. De estos registros, ¿qué requerimientos brutos aparecerán en el MPS de la fábrica?

	Almacén A					Almacén B				
	Semana					Semana				
	−1	1	2	3	4	−1	1	2	3	4
Demanda pronosticada		50	80	90	80		80	120	150	140
Recepciones programadas		100					150			
Inventario final proyectado	160					200				
Recepción planeada de embarques										
Pedidos planeados para embarque										

	Almacén C					Ventas directas a los clientes				
	Semana					Semana				
	−1	1	2	3	4	−1	1	2	3	4
Demanda pronosticada		30	80	90	50		150	200	100	160
Recepciones programadas		100								
Inventario final proyectado	150									
Recepción planeada de embarques										
Pedidos planeados para embarque										

Centro principal de distribución

	Semana				
	−1	1	2	3	4
Requerimientos brutos (unidades)					
Recepciones programadas		450			
Inventario final proyectado	400				
Recepción planeada de pedidos					
Liberación de pedidos planeados a la fábrica					

A continuación se muestran las cantidades de pedido estándar, los plazos de entrega y las existencias de seguridad para cada uno de los almacenes:

	Cantidad de pedido (unidades)	Plazos de entrega (semanas)	Existencia de seguridad (unidades)
Almacén A	100	1	100
Almacén B	150	2	150
Almacén C	100	1	100
Centro principal de distribución	450	1	400



17. Una empresa embarca productos de tres plantas a seis almacenes. El costo de embarque por producto, la capacidad mensual de cada planta y la demanda mensual de cada almacén son los siguientes:

	Almacén						
Planta	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**Capacidad**
1	$6.5	$4.2	$5.0	$1.9	$4.6	$7.1	25,000
2	3.8	2.8	5.1	6.8	3.5	4.0	40,000
3	4.6	4.4	4.1	3.5	6.4	5.2	20,000
Demanda:	9,000	15,000	12,000	18,000	20,000	11,000	

Utilice *POM Computer Library* para resolver este problema de transporte.

a. ¿Cuántos productos deberá embarcar la empresa de cada planta a cada almacén para minimizar los costos mensuales de embarque?
b. ¿Cuál será el costo mensual consiguiente si se sigue el plan de embarques?

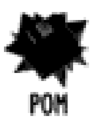


18. Una empresa embarca productos de cuatro plantas a cinco almacenes. El costo de embarque por producto, la capacidad mensual de cada planta y la demanda mensual de cada almacén es:

	Almacén					
Fábrica	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**Capacidad**
A	$12	$19	$10	$15	$15	10,000
B	17	23	15	19	10	15,000
C	21	20	14	12	11	8,000
D	13	17	11	22	16	7,000
Demanda:	11,000	5,000	6,000	12,000	6,000	

Utilice *POM Computer Library* para resolver este problema de transporte.

a. ¿Cuántos productos deberá embarcar la empresa de cada planta a cada almacén para minimizar los costos mensuales de embarque?
b. ¿Cuál será el costo de embarque mensual si se sigue el plan de embarque?



19. Utilice *POM Computer Library* para resolver los problemas de transporte siguientes del capítulo 6:
    a. LP-F
    b. LP-J
    c. El caso The Sun Country Farms

20. Una empresa está poniendo en práctica un sistema de conteo cíclico. Los elementos de la clase A deberán contarse mensualmente, los de la clase B trimestralmente, y los de la clase C anualmente (65% de los elementos de producción de la empresa son de clase C, 25% son artículos clase B y 10% son clase A). Si la empresa tienen 20,000 números diferentes de materiales y partes, ¿cuantos artículos será necesario contar todos los días, si se tienen 250 días de trabajo al año?

21. Para mejorar su programa de conteo cíclico, el gerente de almacén de inventarios propone duplicar la frecuencia de conteo correspondiente a las clases B y C de materiales. La situación actual es:

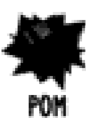
Clase del material	Porcentaje de artículos en la clase de material	Frecuencia del conteo
A	5%	Mensual
B	25	Trimestral
C	75	Anual

La compañía tenía 50,000 materiales de todos los tipos. Si un trabajador que hace el conteo cíclico cuesta 25,000 dólares anuales, puede contar un promedio de 20 artículos diarios y trabaja 250 días al año:

a. ¿Cuántos contadores cíclicos necesita el sistema actual?
b. ¿Cuánto cuesta la cuadrilla actual de contadores cíclicos al año?
c. ¿Cuántos contadores cíclicos requeriría el nuevo sistema?
d. ¿Cuánto costaría anualmente la precisión adicional?

CASOS

STAR CLOTHING MANUFACTURING



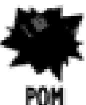
Star Clothing Manufacturing fábrica ropa en tres plantas en México. Las cajas de ropa se embarcan a cuatro almacenes regionales. La siguiente tabla muestra el costo de transporte por caja de cada una de las plantas a cada uno de los almacenes regionales, los requerimientos mínimos mensuales de los almacenes y las capacidades mensuales máximas de cada planta. La empresa desea embarcar cajas de ropa de sus plantas a sus almacenes regionales, de manera que el costo total mensual sea mínimo.

	Destino				Capacidad máxima de la planta
Fuente	**Los Ángeles**	**Dallas**	**Chicago**	**Atlanta**	**(cajas)**
Tijuana	$2.90	$5.25	$9.10	$9.50	35,500
Juárez	3.85	4.15	6.20	7.60	22,500
Matamoros	5.20	3.65	6.10	5.90	12,750
Capacidad mínima mensual del almacén (cajas)	20,500	15,750	16,500	18,500	

Tarea

1. Formule la información de este caso en un formato LP. Defina las variables de decisión, describa la función objetivo y escriba las funciones de restricción.
2. Utilizando el programa de cómputo LP de *POM Computer Library*, resuelva el problema que usted ha formulado en el núm. 1.
3. Interprete totalmente el significado de la solución que usted obtuvo en el núm. 2. En otras palabras, ¿qué debería hacer la gerencia de Star Clothing? Explique completamente el significado de los valores de las variables de holgura.
4. Si usted pudiera agregar capacidad de producción en algunas de las fábricas, ¿cuál es la que usted seleccionaría? ¿Cuánto podría permitirse pagar por cada caja debido a la capacidad adicional de fábrica?
5. ¿Se embarca toda la capacidad de las fábricas? ¿Cuánta capacidad queda sin embarcar? ¿Si toda la capacidad se embarcara, en cuánto costo adicional se incurriría?
6. Explique la advertencia que debe seguirse en las respuestas a los números 4 y 5.

ACME MANUFACTURING



Acme tiene tres departamentos de fabricación (A, B y C). Cada uno de ellos produce un solo producto, con equipo que solamente está dedicado a dicho producto. Los tres productos pasan a tres departamentos de ensamble (1, 2 y 3). Cada departamento de producción y de ensamble tiene una capacidad mensual diferente y lo deseable es que cada departamento opere a toda su capacidad. Las capacidades departamentales mensuales son:

Departamento de fabricación	Capacidad mensual (unidades)	Departamento de ensamble	Capacidad mensual (unidades)
A	12,900	1	5,000
B	19,000	2	21,000
C	9,000	3	14,000

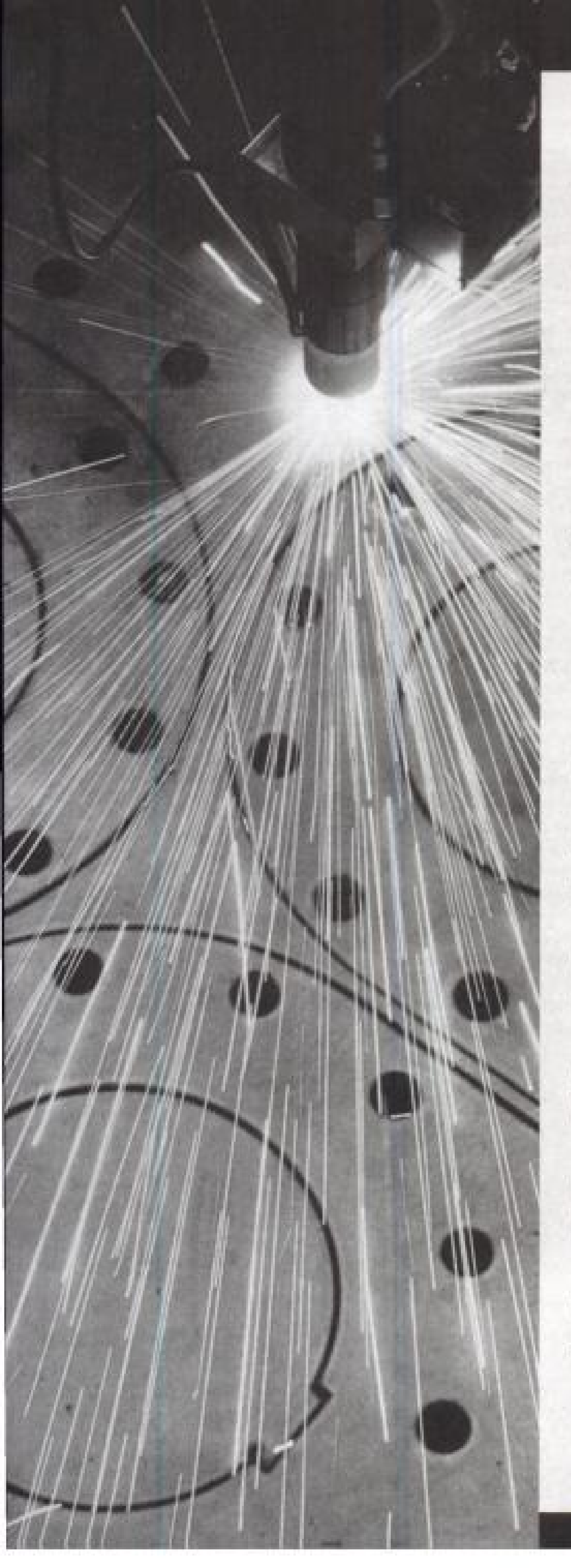
Cualquiera de los tres productos se pueden procesar en cualquiera de los tres departamentos de ensamble, pero los costos son diferentes en razón a las distintas distancias entre departamentos y al diferente equipo en cada departamento de ensamble. Los costos unitarios de producción son:

Departamento de fabricación	Departamento de ensamble	Costo total (dólares/unidad)
A	1	$16.20
	2	18.40
	3	21.30
B	1	$15.10
	2	12.80
	3	18.15
C	1	$12.50
	2	16.35
	3	17.89

El departamento de control de la producción de Acme está intentando desarrollar un plan para asignar los productos fabricados a los tres departamentos de ensamble para el próximo mes. Esta asignación se reduce a un plan de embarques que especifique cuántos de cada producto deberán moverse de cada departamento de fabricación a cada departamento de ensamble para el mes. Si la empresa puede vender todo lo que producen los tres productos, ¿cuántos de cada uno de los productos deberán pasarse de cada departamento de fabricación a cada departamento de ensamble, para minimizar los costos totales mensuales?

Tarea

1. Utilice *POM Computer Library* para resolver este problema de transporte.
2. Explique completamente la solución. ¿Cuántos productos deberán embarcarse de cada uno de los departamentos de fabricación a cada uno de los departamentos de ensamble?
3. ¿Qué costo mensual total se tendrá como resultado de su plan?
4. ¿Si pudiera escoger un departamento de fabricación para incrementar su capacidad, ¿cuál elegiría? ¿Por qué?
5. ¿Qué otros factores, distintos a los que se han considerado en este problema deberán considerarse en la determinación de este tipo de plan de embarques?



PARTE IV

DECISIONES DE CONTROL: *PLANEACIÓN Y CONTROL DE LAS OPERACIONES PARA LA PRODUCTIVIDAD, CALIDAD Y CONFIABILIDAD*

CAPÍTULO 16
Productividad, trabajo en equipo y delegación de autoridad: comportamiento, métodos de trabajo y medición del trabajo

CAPÍTULO 17
Administración de la calidad

CAPÍTULO 18
Control de calidad

CAPÍTULO 19
Planeación y control de proyectos

CAPÍTULO 20
Administración del mantenimiento y confiabilidad

La parte IV de este libro se refiere a las decisiones cotidianas que toman los gerentes de operaciones. Por su misma naturaleza, existe una sensación de urgencia respecto a estas decisiones, ya que tienen un impacto inmediato en el desempeño a corto plazo de las operaciones. Por otro lado, los problemas que se analizan en esta parte del libro también son de importancia estratégica, ya que la supervivencia a largo plazo de los negocios en una competencia global depende de la capacidad que tengan las empresas para sobresalir en la entrega de productos de la calidad más elevada, de efectuar entregas rápidas y a tiempo, con el objetivo general de tener clientes satisfechos. Por todo esto los temas de esta parte del libro abordan dos puntos: el correspondiente a la planeación y control a corto plazo, y, debido a la competencia global que ha hecho que estos temas sean de importancia estratégica, el de la supervivencia a largo plazo. Los gerentes de operaciones son ahora protagonistas clave en el campo de la competencia global.

Estas son algunas de las responsabilidades de los gerentes de operaciones:

- Producir rápidamente y mantener las promesas de entrega a los clientes.
- Productividad elevada y costos de producción bajos.
- Seguridad de los trabajadores.
- Fabricar productos de la más elevada calidad.
- Mantener elevada la satisfacción del cliente.

Más que cualquier otro factor, las personas —empleados del sistema de producción— afectan directamente los costos, la producción oportuna, la calidad y la satisfacción del cliente. Debido al enorme impacto que tienen los empleados, sus puestos deben planearse cuidadosamente, deben trabajar juntos, y deben tener autoridad para asumir un papel más activo. Los empleados tienen la respuesta a muchas de las preguntas sobre cómo mejorar la productividad y los gerentes de operaciones deben captar estas ideas y ayudarles a ponerlas en práctica.

Los programas de administración de la calidad total (TQM) y la puesta en práctica de programas para lograr una elevada calidad de los productos son vitales para la supervivencia a largo plazo, y el control de calidad cotidiano debe administrarse de manera que la organización logre productos o servicios que cumplan con los estándares de calidad determinados y que estén mejorando continuamente. El establecimiento de estos estándares, la inspección de los resultados y la comparación del producto real o de las características del servicio con estas normas, así como tomar acciones correctivas según se requiera, son aspectos importantes en las tareas cotidianas de los gerentes de operaciones.

Otro aspecto básico del control de costos y calidad es el mantenimiento de las máquinas de producción. El conocimiento de ideas y técnicas de mantenimiento preventivo y temas relacionados ayudan a asegurar a los gerentes de operaciones que las máquinas no interferirán con sus objetivos de costo, producción oportuna y calidad.

Si nuestras industrias han de sobrevivir a los ataques de la competencia extranjera a largo plazo, deben mejorar la forma en que planean y controlan sus operaciones cotidianas, es decir, los temas incluidos en la parte IV (productividad y empleados, administración de la calidad, control de calidad, planeación y control de proyectos, administración del mantenimiento y confiabilidad) cuando se toman en conjunto, son vitales para el éxito y supervivencia de nuestros sistemas de producción.

denses, la imagen respecto a la productividad es más brillante. Avanzados sistemas de cómputo, como CAD/CAM, manufactura integrada por computadora (CIM), todo tipo de sistemas automatizados, diseños innovadores y adelantos en la calidad del producto, están cambiando profundamente la naturaleza de las operaciones, tanto en la manufactura como en los servicios. El resultado son menos empleados de línea, gerentes intermedios y trabajadores asalariados y, al mismo tiempo, las organizaciones se hacen más pequeñas, más flexibles, más austeras y más productivas.

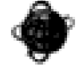
Procedimiento multifactor para medir la productividad

La productividad de un recurso es la cantidad de productos o servicios producidos en un periodo, dividido entre el monto requerido de dicho recurso. La productividad de cada recurso puede y debe medirse. Por ejemplo, mediciones como éstas podrían emplearse para determinar la productividad en un periodo determinado:

- **Capital:** Volumen de productos producidos dividido entre el valor de los activos.
- **Materiales:** Volumen de productos producidos dividido entre dinero desembolsado en materiales.
- **Mano de obra directa:** Mano de obra directa: Volumen de productos producidos dividido entre horas de mano de obra directa.
- **Gastos generales:** Volumen de productos producidos dividido entre dinero desembolsado en gastos generales.

Este tipo de mediciones no son perfectas. Por ejemplo, la medición de la productividad de los materiales incluye el precio, lo que generalmente no es deseable, pero no hay otra manera práctica de combinar las diferentes unidades de medición para los diversos materiales que se utilizan en la producción. Aunque estas medidas de la productividad tienen sus inconvenientes, proporcionan un punto de partida para llevar el control de la productividad, de manera que los gerentes puedan estar conscientes de sus tendencias. En décadas pasadas, cuando el costo predominante en la producción era la mano de obra, la productividad se medía únicamente en función del volumen por hora de mano de obra directa. Ahora, sin embargo, existe la necesidad de ver más allá de los costos de mano de obra directa y desarrollar una perspectiva con varios factores.

El problema de enfocarse en la productividad de un solo tipo de recurso, o factor, es que su productividad puede incrementarse simplemente reemplazando parte de dicho recurso con otro diferente. Por ejemplo, imagínese un fabricante de automóviles que antes adquiría los componentes de una bomba de agua y los ensamblaba, para obtener una bomba completa para auto. Suponga que ahora decide comprar bombas de agua ya ensambladas, reduciendo, por lo tanto, la cantidad de empleados y equipo que necesita internamente. Considere lo que ocurre con la productividad de diferentes factores debido a este cambio. El volumen de producción se mantiene constante, pero el tipo de recursos utilizado ha cambiado. La productividad de la mano de obra directa se incrementa porque se requieren menos empleados para el ensamble interno. La productividad del capital aumenta, porque ya no se requiere el equipo ni las máquinas de ensamble, que pueden venderse. Sin embargo, la productividad de los materiales se reduce, porque el costo de adquisición de las bombas de agua ensambladas es más elevado que el de sus componentes. Este ejemplo ilustra la importancia de examinar la productividad de múltiples factores para poder juzgar la eficiencia de un sistema de producción.



El Bureau of Labor Statistics (**http://stats.bls.gov**) publica estadísticas sobre productividad multifactorial, una medida compuesta de recursos de mano de obra, capital, energía y materiales.

Para comprender el estado actual de la productividad de la mano de obra en Estados Unidos, debemos examinar dos conceptos: la productividad de la mano de obra y la tasa de cambio de la productividad. Veamos primero la productividad de la mano de obra, es decir, el nivel absoluto de la productividad de la mano de obra estadounidense.

El Bureau of Labor Statistics publica estadísticas de la productividad de la mano de obra que se calculan dividiendo el valor real en dólares de todos los bienes y servicios producidos en Estados Unidos, en un año dado, entre las horas de mano de obra directa utilizadas en la producción de estos bienes y servicios. Durante muchas décadas, Estados Unidos ha sido líder mundial en productividad de la mano de obra. Otra medida que refleja las diferencias de productividad entre naciones es el producto interno bruto por persona empleada. La tabla 16.1 muestra esta comparación

INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 16.1

MEJORAS EN LA PRODUCTIVIDAD EN FORD MOTOR COMPANY Y TOYOTA

Si busca el secreto del éxito de Ford Motor Company en los años 1980, deténgase en el complejo de ensamble de Wixom, Michigan, que produce Lincolns de lujo y mil millones de dólares al año en utilidades. En 1979, Wixom fabricó 640 automóviles diariamente, utilizando 5,420 trabajadores. Durante 1990, Wixom fabricó 768 automóviles diarios con menos obreros. Se trata, pues, de una ganancia de productividad de mano de obra del 43%, lo que caracteriza el desempeño de Ford. Estos asombrosos incrementos en productividad se lograron a través del máximo uso de las instalaciones existentes, la aplicación de tecnologías de punta, un fuerte énfasis en diseños de automóviles fáciles de ensamblar y un temprano curso de programas de cooperación con la United Auto Workers Union (UAW). En total, Ford elevó su volumen de vehículos estadounidenses un 11.5% durante los años 80 y al mismo tiempo, recortó su fuerza de trabajo 21%. Y las ventajas son para toda la empresa.[a]

Ford Motor Company salió de los 80 con el incremento más grande de productividad entre los tres grandes fabricantes estadounidenses de automóviles. Ford tuvo un incremento de 31%, Chrysler Corporation de 17% y General Motors Corporation de 5%. Entre las 37 plantas automotrices encuestadas por Harbour & Associates, las de Ford quedaron en las tres primeras posiciones y GM en las tres últimas.

La planta con mayor calificación fue la fábrica Ford de Taurus y Sable en Atlanta, donde se necesitaron 2.72 trabajadores para ensamblar un automóvil. La planta menos eficiente fue la fábrica de Detroit de General Motors, que ensambla Eldorados y Sevilles de Cadillac, y Rivieras y Toronados de Buick, donde se necesitaron 7.85 trabajadores para ensamblar un coche. Los tres grandes fabricantes tienen en marcha programas de mejora de la productividad[b].

Llegado 1992, Ford podía producir prácticamente tantos vehículos en Estados Unidos como en los años 1970 pero con la mitad de trabajadores. ¿De qué manera logró esta hazaña? Contribuyeron dos razones importantes:

- Diseños de automóviles con menos componentes. La defensa del Taurus tiene sólo 10 componentes, en comparación con más de 100 del competidor Grand Prix de Pontiac de GM.
- Mayor cooperación de su fuerza de trabajo. Ford persuadió a sus empleados para que trabajaran más duro y con mayor inteligencia y que ayudaran a la gerencia a encontrar la manera de recortar costos.

Éstas y otras mejoras permitieron que Ford utilizara una tercera parte menos de horas de mano de obra para la fabricación de sus automóviles que GM, lo que dio a Ford una ventaja en costos de 795 dólares por vehículo.[c]

Toyota recientemente anunció un adelanto tecnológico en el diseño del motor, que incrementará su productividad. El motor de 120 caballos del Corolla 1998 utiliza 25% menos componentes que su predecesor, lo que lo hace 10% más ligero, 10% más eficiente en combustible y significativamente más económico de fabricar. Toyota no ha publicado todos los detalles, pero se eliminaron varias ménsulas al moldearlas en el bloque motor, y se consolidaron varios sensores o detectores electrónicos.[d]

Fuente:
[a]Lippert, John, Knight-Ridder Newspapers. "Ford Auto Plant Has Productivity Down to Science." *Houston Chronicle*, 7 de enero, 1990, 10E.
[b]"Ford Tops Productivity Survey." *Houston Chronicle*, 3 de enero, 1990, 2B.
[c]"A Decisive Response to Crisis Brought Ford Enhanced Productivity." *Wall Street Journal*, 15 de diciembre, 1992. A1.
[d]Taylor, Alex, III. "How Toyota Defies Gravity." *Fortune*, 8 de diciembre, 1997, 100–108.

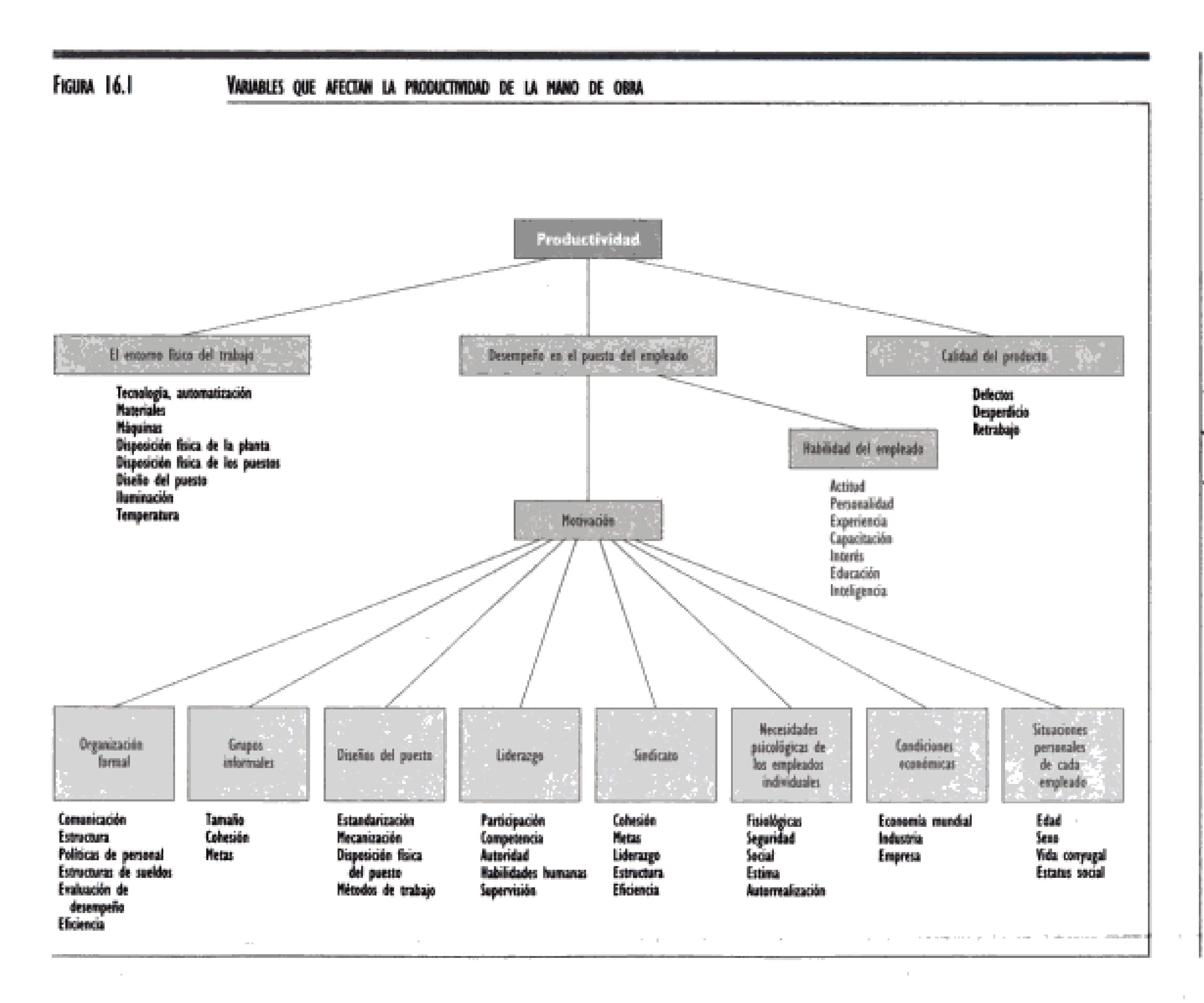
sivos en mano de obra directa. Por estas razones, el costo de la mano de obra y la necesidad de mejorar su productividad sigue recibiendo la atención de la administración. Por todo esto, en el resto del capítulo nos enfocaremos a la productividad de la mano de obra.

PRODUCTIVIDAD DE LA MANO DE OBRA

¿Qué hace más productivos a los empleados? La figura 16.1 muestra los factores principales que afectan la productividad de la mano de obra. Esta ilustración muestra una verdad importante: las causas de la productividad son muchas. Todavía no hemos desarrollado un conjunto de fórmulas que sirvan para predecir exactamente el comportamiento humano en general y la productividad en particular. Sin embargo, empezamos a comprender lo suficiente sobre el comportamiento de los empleados para eliminar algo de incertidumbre respecto a por qué los empleados son productivos.

Tres factores importantes afectan la productividad de la mano de obra: el desempeño del puesto de los empleados; la tecnología, las máquinas, las herramientas y los métodos de traba-

FIGURA 16.1 VARIABLES QUE AFECTAN LA PRODUCTIVIDAD DE LA MANO DE OBRA



INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 16.2

EMPLEADOS MÁS INTELIGENTES Y MEJOR CAPACITADOS

Northeast Tool & Manufacturing Co., en las afueras de Charlotte, Carolina del Norte, está requiriendo a cada uno de sus 42 empleados que se sometan a exámenes de aptitud que miden todo, desde matemáticas y habilidades mecánicas, hasta liderazgo y adaptabilidad. Los resultados de las pruebas se analizan en North Carolina Labor Departament en Raleigh y después se devuelven a Northeast Tool con una receta para cada trabajador. Con base en los resultados, la empresa desarrolla una capacitación personal para cada trabajador. Algunos se inscribirán en un colegio o universidad de la comunidad cercana; otro tomarán cursos remotos por computadora en la planta; unos cuantos asistirán a clases vespertinas con profesores llevados directamente a las instalaciones de la planta.

La tendencia hacia la manufactura de alta destreza empezó a mediados de los 80, cuando muchas empresas empezaron a reemplazar trabajos de baja destreza en la línea de ensamble por equipo computarizado que requería trabajadores diestros y hábiles que estuvieran pensando mientras trabajaban. En los años 90 las empresas aprendieron la lección en el sentido de que la inversión en capacitación eleva la productividad, a menudo con un costo más inferior que las inversiones de capital. Ahora, incluso los pequeños fabricantes como Northeast Tool ven que la alta destreza es esencial para mantenerse competitivo.

De acuerdo con los sondeos en grandes empresas realizados por el Center for Effective Organizations de la University of California, la cantidad de firmas que han hecho que la mayoría de sus trabajadores se sometan a diferentes tipos de capacitación se ha duplicado o triplicado en la última década. Entre 1985 y 1995 el porcentaje de trabajadores de la manufactura con por lo menos alguna instrucción universitaria aumentó de 33 a 44%. "Existe un incremento real en el deseo de las empresas a invertir en su fuerza de trabajo", opina Pamela J. Tate, Presidente del Council for Adult & Experimental Learning, un grupo asesor de Chicago.

Fuente: "Special Report: The New Factory Worker". *Business Week*, 30 de septiembre, 1996, 59–68.

jo, que apoyan y ayudan su trabajo ,y la calidad del producto. Los grupos no de línea como los ingenieros industriales, de proceso, de productos y de sistemas luchan por desarrollar una mejor automatización, máquinas, herramientas y métodos de trabajo para incrementar la productividad de la mano de obra. Incrementar la productividad a través de adelantos tecnológicos es tan importante como el desempeño del puesto del empleado para elevar la productividad. La reducción de los defectos, el desperdicio y el retrabajo incrementan directamente la productividad de todos los factores de producción.

El desempeño del puesto del empleado es un tema complejo, ya que todas las personas son diferentes. La habilidad, personalidad, intereses, ambiciones, niveles de energía, educación, capacitación y experiencia varía mucho. Es importante para los gerentes de operaciones considerar estas diferencias porque los procedimientos genéricos o universales para mejorar el desempeño en el puesto quizás no sean efectivos para todos los empleados. Los departamentos de personal reconocen estas diferencias e intentan seleccionar aquellos empleados que tienen la capacidad deseada para desarrollar programas para mejorar sus habilidades. En la Instantánea industrial 16.2 se analiza la creciente importancia de la capacitación e instrucción de los empleados.

La motivación es quizás la variable más compleja en la ecuación de la productividad. La motivación es lo que impulsa a una persona a actuar de cierta manera. Maslow identificó cinco niveles de necesidades, que impulsan a las personas a actuar: fisiológicas, de seguridad, sociales, de autoestima y de autorrealización.[5] Estas necesidades se organizan en una jerarquía: las fisiológicas en el nivel más bajo y la autorrealización en el más alto. Solamente las necesidades no satisfechas son **motivadoras**, es decir, hacen que las personas actúen, y conforme cada nivel inferior de necesidades queda relativamente satisfecho, emergen como motivadoras las necesidades de nivel superior. Hoy, las necesidades de nivel inferior de los empleados (fisiológicas y de seguridad) están en gran parte atendidas en los paquetes económicos del trabajo. Las necesidades de nivel más elevado (sociales, de autoestima y autorrealización) pueden ofrecer una mayor promesa para los gerentes en su intento de motivar a los empleados.

¿De qué manera una comprensión de las necesidades de los empleados nos ayudará a diseñar un entorno de trabajo que aliente la productividad? Si podemos determinar qué clase de necesidades es

TABLA 16.2 **ALGUNAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ESPECIALIZACIÓN EN EL TRABAJO**

Ventajas

1. Debido al trabajo repetitivo, los ritmos de producción son elevados.
2. Debido a que la necesidad de habilidad en el puesto es reducida:
   a. Las tasas de salarios son bajas.
   b. Se puede capacitar rápidamente a los trabajadores.
   c. Se puede reclutar fácilmente a los trabajadores.

Desventajas

1. La falta de satisfacción del trabajador puede hacer que los costos totales sean excesivos debido a elevadas tasas de rotación de personal, absentismo, retrasos, quejas ante el sindicato, enfermedades relacionadas con el trabajo y sabotaje.
2. La calidad de la producción puede ser reducida porque:
   a. Los trabajadores no están motivados para producir productos de elevada calidad.
   b. Dado que los trabajadores efectúan solamente una pequeña parte de un producto, no hay uno que sea responsable de la calidad de todo el producto.

can bienes y servicios de elevada calidad. En el actual entorno laboral, donde el absentismo, la rotación de personal y la baja calidad de los productos y servicios son problemas enormes, simplemente esta razón debería ser suficiente para que los gerentes de operaciones se interesaran en diseñar puestos que proporcionaran una gama más amplia de satisfacción de las necesidades de los empleados.

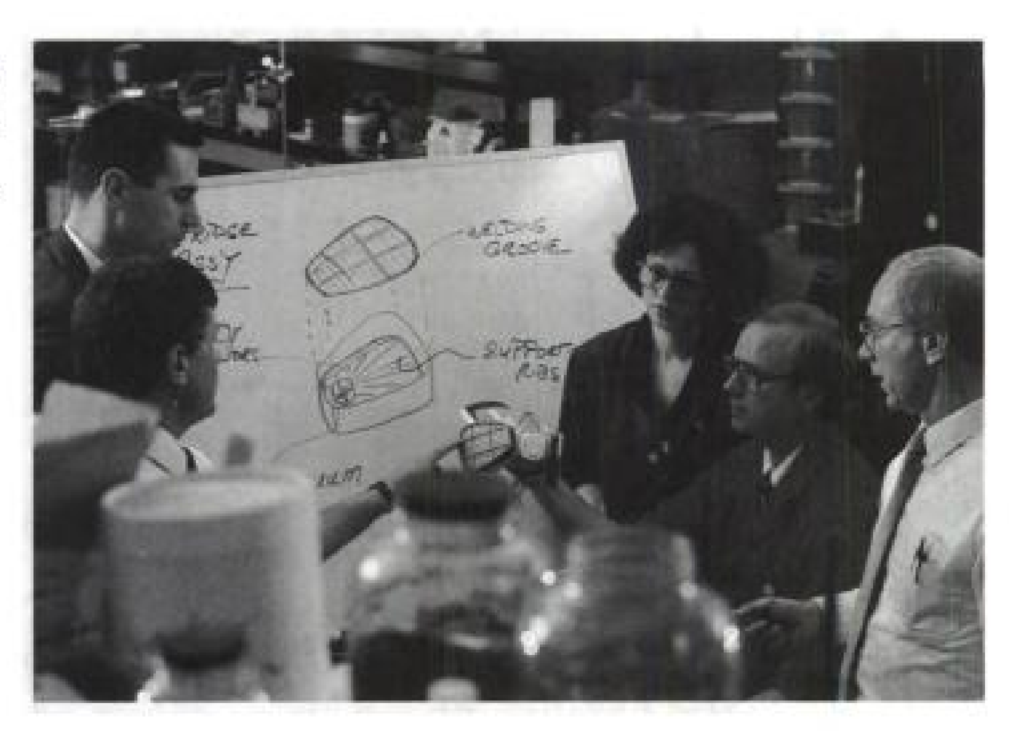
DISEÑO DE LOS PUESTOS DE LOS TRABAJADORES

Algunos científicos del comportamiento sostienen que los puestos de las líneas de ensamble son aburridos y monótonos y que los trabajadores no están satisfaciendo sus necesidades de socialización, autoestima y autorrealización en estos puestos. Las elevadas tasas de absentismo y de rotación de personal entre nuestros trabajadores parecerían apoyar esta opinión. Esta crítica a los puestos de las líneas de ensamble está dirigida al elevado grado de especialización de la mano de obra en estos puestos. La **especialización de la mano de obra** se refiere a la cantidad de tareas que efectúa un trabajador. Un puesto muy especializado es aquel en el que el trabajador ejecuta repetitivamente sólo una gama muy reducida de actividades, como doblar una hoja de papel y colocarla dentro de un sobre. Por otra parte, un puesto no muy especializado sería uno en el cual el trabajador efectúa una diversidad de tareas durante el día. La tabla 16.2 enlista algunas de las ventajas y desventajas de la especialización de la mano de obra.

Algunas propuestas para modificar los trabajos especializados para tener una gama más amplia de satisfacción de necesidades son:

- **Capacitación cruzada**: Capacitar a los trabajadores para que laboren en varios puestos, de manera que puedan trasladarse de un puesto a otro según se requiera.
- **Engrandecimiento del puesto**: Agregar tareas similares adicionales a los puestos de los trabajadores; esto se conoce como *engrandecimiento horizontal del puesto.*
- **Enriquecimiento del puesto**: Agregar más planeación, inspección y otras funciones administrativas a los puestos de los trabajadores; esto se conoce como *engrandecimiento vertical del puesto.*
- **Producción por equipo**: Organizar a los trabajadores en equipos de trabajo; seleccionar a los trabajadores y capacitarlos para que trabajen en equipo; asignar a los equipos alguna responsabilidad administrativa de la producción.

La formación de equipos de trabajo efectivos significa más que simplemente agrupar trabajadores; se necesita mucho más. La formación de equipos requiere capacitar en efectividad de equi-



Una gran ventaja de tener equipos de trabajo efectivos es el traslado del enfoque del departamento a los procesos, como el diseño de respiradores, que aquí analiza un equipo de trabajo.

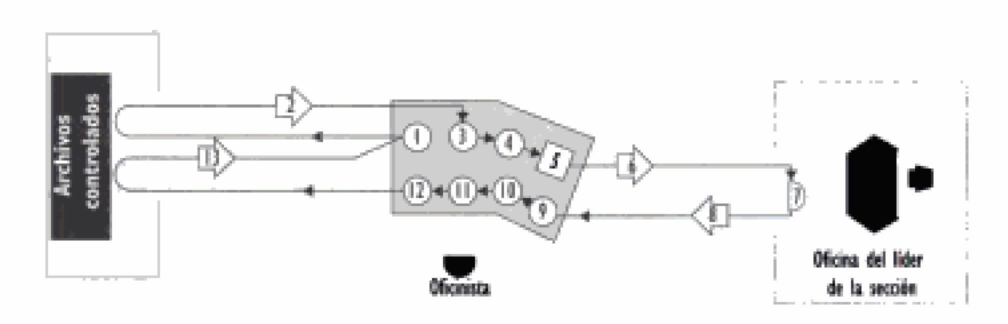
po, solución de conflictos, medición del equipo y sistemas de motivación. Una características poderosa de los equipos de trabajo efectivos es que se pueden enfocar en procesos, más que en departamentos. Por ejemplo, si un equipo va a diseñar y desarrollar un nuevo producto, el equipo se puede enfocar en el proceso de diseño y desarrollo del nuevo producto, sin estar restringido y limitado por fronteras y responsabilidades departamentales. Estos remedios se han aplicado experimentalmente con diversos grados de éxito.

Permanece un problema candente: *¿Podemos dar a los trabajadores simultáneamente la satisfacción que desean de su trabajo y aún así obtener para la organización, la productividad y la eficiencia que necesita para sobrevivir económicamente?* ¿Es posible esta combinación? ¿De qué manera diseñaremos los puestos, de forma que podamos integrar la necesidad de la organización de una alta productividad, con las necesidades de los empleados de un trabajo interesante, autodirigirse, autocontrolarse, socializar, participar y obtener logros? ¿Existen guías prácticas que pudieran seguir ingenieros y otros especialistas técnicos, que son quienes diseñan los puestos de los trabajadores, para poder conseguir ambas metas? La tabla 16.3 sugiere varias de estas guías para diseñar las tareas de los puestos de los trabajadores, los entornos inmediatos a los puestos y el entorno más grande del trabajo.

La tabla 16.3 se desarrolló bajo la hipótesis de que los puestos individuales de los trabajadores se diseñaron primero para ser técnicamente eficientes y productivos. Estas sugerencias para la modificación de las tareas de los trabajadores se han aplicado en la práctica en organizaciones del mundo real para darle a los trabajadores oportunidades de autocontrol, autodirección y socialización. El resto de la tabla ofrece otras sugerencias para modificar positivamente tanto el escenario inmediato del puesto, como el entorno más grande del trabajo.

Los sindicatos representan una fuerza poderosa para afectar la actitud de los trabajadores hacia su trabajo. Los sindicatos no han confiado en las acciones de la administración para hacer más satisfactorio el trabajo, por lo que tanto trabajadores como sindicatos no han cooperado en la implementación de las propuestas de modificación del diseño de los puestos. También, a lo largo de los años, los sindicatos han negociado convenios de trabajo que contienen reglas laborales restrictivas. Estas reglas controlan asuntos como el pago, las horas de trabajo, el tiempo extra, la antigüedad para ocupar puestos vacantes, el alcance de los puestos, el pago de incentivos, los procedimientos de despido y recontratación, y las transferencias entre puestos. Una regla laboral común inhibe a un trabajador de un escalafón laboral para que desarrolle trabajo correspondiente a otro escalafón, como por ejem-

FIGURA 16.3 DIAGRAMA DE FLUJO Y GRÁFICA DE PROCESO: MÉTODO ACTUAL PARA LLENAR EL FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN PARA INVESTIGAR



Operación: [illegible] Producto: [illegible] Departamento: [illegible] Número de dibujo: N.A. Número de parte: N.A. Cantidad: [illegible] Presente: ✓ Propuesto:	Hoja 1 de 1 hojas Diagramado por: [illegible] Fecha: [illegible] Aprobado por: [illegible] Fecha: [illegible]	Resumen Operación 7 Transporte 4 Inspección 1 Retraso 1 Almacenamiento — Distancia vertical, distancia horizontal y tiempo en horas 180 ft [illegible]

Número	Distancia recorrida (pies)	Tiempo del trabajador (minutos)	Símbolo	Descripción
1		.200	○ ⇨ □ D △	Retire la solicitud del departamento de reclamaciones de la charola de entrada; identifique al cliente
2	35	3.250	○ ⇨ □ D △	Camine al área de archivo, localice archivo y regrese a escritorio
3		.500	○ ⇨ □ D △	Localice información pertinente en el archivo del cliente
4		4.750	○ ⇨ □ D △	Mecanografíe la información sobre la autorización para investigar el formulario (formulario No. [illegible])
5		.500	○ ⇨ □ D △	Inspección al formulario
6	35	.200	○ ⇨ □ D △	Camine hasta el escritorio del líder de la sección
7		.500	○ ⇨ □ D △	Espere la firma
8	35	.200	○ ⇨ □ D △	Regrese a escritorio
9		.200	○ ⇨ □ D △	Separe el formulario en hojas independientes
10		1.750	○ ⇨ □ D △	Prepare la copia del investigador regional para el correo, coloque en la charola de correo del escritorio
11		1.500	○ ⇨ □ D △	Prepare la copia del departamento de reclamaciones para su ruta, coloque en la charola de correo sobre el escritorio
12		.200	○ ⇨ □ D △	Coloque una copia en el archivo del cliente
13	35	2.250	○ ⇨ □ D △	Camine al área de archivo, vuelva a archivar y regrese al escritorio
14			○ ⇨ □ D △	

TABLA 16.6

COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS ACTUAL Y PROPUESTO PARA COMPLETAR EL FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN PARA INVESTIGAR: DEPARTAMENTO DE PÉRDIDAS DE PROPIEDAD

Factor de comparación	Método actual	Método propuesto	Ahorros estimados
Pies recorridos por formulario	180	55	125
Cantidad de operaciones por formulario	7	6	1
Cantidad de inspecciones por formulario	1	1	—
Cantidad de retrasos por formulario	1	—	1
Minutos por formulario	16.000	12.250	3.750
Costo de mano de obra por formulario (10 dólares la hora)	$2.667	$2.042	$0.624
Costo anual de mano de obra (300,000 formularios por año)	$799,800	$612,600	$187,200

Existen varios formularios de **gráficas de multiactividad**, pero todos ellos tienen una cosa en común: muestran cómo trabajan juntos uno o más trabajadores y/o con máquinas. Un **diagrama trabajador-máquina**, por ejemplo, podría mostrar la forma en que el dependiente en una tienda de abarrotes trabaja con un cliente y con un molino de café, para producir café molido para dicho cliente. Estas gráficas son útiles para minimizar los retrasos de trabajadores y máquinas y para determinar la cantidad óptima de máquinas por trabajador.

Aunque el análisis de métodos es un elemento importante para lograr una elevada productividad de la mano de obra, también resulta útil la medición del trabajo.

MEDICIÓN DEL TRABAJO

¿Qué unidades de medidas utilizaremos para medir el trabajo humano? En las ciencias físicas se han utilizado pies-libras, calorías por minuto u otras unidades para la medición del trabajo, pero en las operaciones, deberá utilizarse una unidad de trabajo que a la vez sea fácilmente medida y fácilmente comprendida. La unidad de medida que ha resultado es **minutos de trabajo por unidad de caudal de salida**. En otras palabras, ¿cuántos minutos en promedio le toma normalmente a un trabajador bien capacitado producir un componente, subensamble, producto o servicio? La **medición del trabajo**, por lo tanto, se refiere a estimar la cantidad del tiempo del trabajador requerida para generar una unidad de resultado. Generalmente, la meta final de la medición del trabajo es desarrollar estándares de mano de obra que se utilizarán para la planeación y control de las operaciones, consiguiendo así una elevada productividad de la mano de obra.

ESTÁNDARES DE MANO DE OBRA

Un **estándar de mano de obra** es la cantidad de minutos del trabajador requeridos para completar un elemento, operación o producto, en condiciones normales de operación. El término **operación ordinaria**, o normal, se refiere a una situación hipotética promedio: la capacidad de los trabajadores, la velocidad de su trabajo, el estado de las máquinas, el suministro de materiales, la disponibilidad de la información, la presencia de esfuerzos fisiológicos o psicológicos y demás aspectos de los puestos de los trabajadores.

Los estándares de mano de obra se utilizan para planear y controlar las operaciones. Por ejemplo, cuando sabemos la cantidad de minutos por trabajador requeridos para cada producto, podremos estimar el número de trabajadores necesarios en un departamento de producción. También se pueden utilizar los estándares de mano de obra para determinar si un departamento de producción está desempeñándose por encima, por debajo o al nivel estándar. Lo que es más, se utilizan los estándares de mano de obra en el desarrollo de estándares de costo por mano de obra contables, que son útiles en las estimaciones de costos, en los informes de variaciones de costos por mano de obra y en el precio de nuevos productos.

Otro uso de los estándares de mano de obra son los sistemas de pago por incentivos.

Sistemas de pago por incentivos Un **sistema de pago por incentivos** hace que la paga de un trabajador se condicione a su desempeño. Por ejemplo, con un plan de pago a destajo, el trabajador recibiría una cantidad específica de dólares por cada unidad de producto, mientras que con un plan de pago de compartir utilidades, su tasa de pago básica por hora se ajustaría hacia arriba de manera proporcional, según su desempeño por encima del estándar. Los bonos de reparto de utilidades son otra forma de paga de incentivos.

Aunque en Estados Unidos la popularidad de los sistemas de paga por incentivos ha disminuido, su uso sigue siendo común, particularmente en empresas e industrias maduras, donde la tradición todavía la exige. En empresas japonesas como Toyota, los cheques de los trabajadores se ven afectados por las tolerancias de producción: "Estas tolerancias se basan en la producción durante el mes del equipo de trabajo". En Estados Unidos existe una enorme variedad en sistemas de pago por incentivos, y conforme evolucionan las negociaciones de los trabajos entre sindicato y gerencia, de igual forma evolucionan estos sistemas. Cada vez más, las empresas están utilizando sistemas de pago por incentivos orientados a equipos. Estos sistemas hacen énfasis en el trabajo por equipos al premiar a los individuos con base en su contribución a las metas de los equipos, a través de revisiones de sus iguales.

Se utilizan tres procedimientos para el establecimiento de los estándares de mano de obra: los estudios de tiempos, el muestreo del trabajo y los métodos de tiempo predeterminado.

ESTUDIOS DE TIEMPOS

En el **estudio de tiempos,** los analistas utilizan cronómetros para medir la operación que están realizando los trabajadores. Estos tiempos observados se convierten en estándares de mano de obra, que se expresan en minutos por unidad de resultado para la operación. La tabla 16.7 enlista los pasos empleados por los analistas en la determinación de los estándares de mano de obra basados en un estudio de tiempos. El ejemplo 16.2 muestra los pasos para calcular un estándar de mano de obra a partir de un estudio de tiempos.

TABLA 16.7 **PASOS PARA DETERMINAR LOS ESTÁNDARES DE MANO DE OBRA A PARTIR DE ESTUDIOS DE TIEMPOS**

1. Asegúrese que está utilizando el método correcto para realizar la operación que se está estudiando.
2. Determine cuántos ciclos se van a cronometrar. Un **ciclo** es un conjunto completo de tareas elementales incluidas en la operación. Generalmente, deberán cronometrarse más ciclos cuando los tiempos de los ciclos sean cortos, cuando los tiempos de los ciclos sean muy variables o cuando la producción anual de dicho producto sea elevada.
3. Divida la operación en tareas básicas, que también se conocen como **elementos** (obtener la parte, sujetar contra esmeril, ajustar máquina, etc.).
4. Observe la operación y utilice un cronómetro para registrar el tiempo transcurrido durante la cantidad de ciclos requeridos de cada elemento. Los **tiempos de los elementos observados** se registran en minutos.
5. Para cada tarea elemental, estime la velocidad en la que está trabajando el operario. Una **calificación de desempeño** de 1.00 indica que el trabajador está trabajando a una velocidad normal, en la que lo haría cualquier operario bien capacitado, en condiciones ordinarias de operación. Una calificación de desempeño de 1.20 indica 20% más rápido de lo normal, y una de 0.80 indica 20% más lento.
6. Calcule una **fracción de tolerancia** para la operación. La fracción de tolerancia es la fracción del tiempo en la cual los trabajadores no pueden trabajar, sin ser por su culpa. Por ejemplo, si los trabajadores no pueden trabajar 15% del tiempo debido a labores de limpieza, periodos de descanso, reuniones o juntas de la empresa, etc., la fracción de tolerancia sería de 0.15.
7. Determine ¿cuál es el **tiempo promedio observado** de cada elemento, al dividir la suma de los elementos observados para cada elemento, entre la cantidad de ciclos cronometrados?
8. Calcule el **tiempo normal del elemento** para cada uno de ellos.

   Tiempo normal del elemento = tiempo promedio observado × la calificación de desempeño.
9. Calcule el **tiempo normal** total de toda la operación sumando los tiempos normales de los elementos correspondiente a todos ellos.
10. Calcule el **estándar de mano de obra** para la operación:

    Estándar de mano de obra = tiempo normal total ÷ (1 − fracción de tolerancia)

FIGURA 16.5 **ESTUDIO PARA HACER LA COMPAGINACION DE FOLLETOS**

Estudio de tiempos

Operación: compaginar materiales para los folletos de la universidad.

Departamento: universitario de trabajo	Inicio: 12:10	Fecha: 8/15	Operador: Suzanne Olden
Parte:	Duración: 12:14	Turno: 2	M: 1 ✓
Tamaño: Folleto de 12 páginas de 8.5 x 11 pulgadas	Diferencia tiempo transcurrido: 4 min.	Estudio: 1	Analista: Mary Delaney
	Producción: 10 folletos	Hoja: 1	
	Tiempo estimado: .400 min. por folleto		

Observaciones: Observaciones: 12 filas se organizan en dos hileras de seis filas cada una sobre una mesa grande.

Elementos	Ciclos															Resumen			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Suma	Media	Calf.	Normal
1. Compaginar hilera No. 1	.10	.09	.09	.08	.08	.09	.07	.10	.08	.09						.87	.087	1.00	.087
2. Golpear folletos sobre su borde	.04	.03	.04	.05	.03	.04	.04	.04	.03	.05						.39	.039	.90	.035
3. Compaginar hilera No. 2	.12	.09	.10	.09	.10	.10	.09	.08	.11	.10						.98	.098	1.00	.098
4. Golpear folleto sobre el borde	.04	.02	.03	.05	.03	.04	.04	.03	.05	.04						.37	.037	.90	.033
5. Engrapar folleto	.06	.06	.07	.06	.07	.06	.06	.06	.06	.06						.62	.062	1.10	.068
6. Poner a un lado	.02	.03	.04	.04	.03	.03	.03	.04	.04	.03						.33	.033	1.00	.033
7. Elementos misceláneos																			
a. Aplicar pegamento con los dedos					.06											.06	.006	1.00	.006
b. Enderezar las pilas								.21								.21	.021	1.00	.021
																		Total	.381

Estándar de mano de obra = Tiempo normal total ÷ (1 − fracción de tolerancia) = .381 ÷ (1 − .15) = .4482 minutos por folleto

tolerancias en el cálculo de los estándares de mano de obra, en la estimación de costo de ciertas actividades y en la investigación de los métodos de trabajo.

El muestreo del trabajo también se emplea para el establecimiento de los estándares de mano de obra. El ejemplo 16.5 utiliza un estudio de muestreo del trabajo para establecer un estándar de mano de obra para capturistas que realizan verificaciones de crédito de clientes potenciales. En este caso, el propósito de los estándares de mano de obra es estimar la cantidad de capturistas que se requerirían, si se estableciera un nuevo departamento de verificación de crédito.

EJEMPLO 16.3

ESTABLECIMIENTO DE ESTÁNDARES DE MANO DE OBRA MEDIANTE EL MUESTREO DEL TRABAJO

El departamento de facturación de Gasco, empresa de gas natural para el área metropolitana de Los Ángeles, California, tiene oficinistas que realizan las siguientes actividades: 1) auditar las facturas de los clientes, 2) corregir facturas de los clientes, 3) verificar el crédito de clientes potenciales. Gasco ha crecido tan rápidamente en años recientes que la carga de trabajo en la verificación de créditos está aumentando. El gerente del departamento de facturación prevé que el próximo año deberán efectuarse 150,000 verificaciones de crédito en el departamento y se pregunta cuántos oficinistas necesitará para hacerlo. Se asignó a un analista la tarea de estimar la cantidad de oficinistas que se requerirían. Este procedimiento se va a seguir durante la investigación:

Tiempo total normal = tiempo por verificación de crédito × calificación de desempeño
= 3.51 × 1.10 = 3.861 minutos
Estándar de mano de obra = (tiempo normal total) ÷ (1 − fracción de tolerancia)
= 3.861 ÷ (1 − 0.20)
= 4.82625 minutos por verificación de crédito

4. Calcule el número de oficinistas requeridos para verificaciones de crédito el siguiente año:

$$\text{Cantidad de oficinistas al año} = \left(\text{Cantidad de verificaciones pronosticadas el próximo año}\right) \times \left(\text{Estándar de mano de obra para verificaciones de crédito}\right) \div \left(\text{Minutos/año que trabajan los oficinistas}\right)$$

= (150,000 × 4.82625) ÷ (50 semanas/año × 2,400 minutos/semana)
= 6.03, o ligeramente más de seis oficinistas

El muestro del trabajo es menos costoso que el estudio de tiempos, pero ofrece menor precisión. El muestreo del trabajo se prefiere cuando muchos trabajadores hacen una operación única, que está distribuida en un área geográfica grande. En estos casos, un solo analista puede observar a todos los trabajadores en intervalos fijos de tiempo, tomando una instantánea para 10 segundos. Este muestreo "de las actividades de los empleados" permite a los analistas subdividir una operación en elementos y registrar cuál de ellos está haciendo el empleado cuando se toma la instantánea de muestreo del trabajo. La cantidad de veces que cada uno de los elementos está ejecutándose en un turno de ocho horas se convierte en la base para el estándar de mano de obra.

Estándares de tiempo predeterminados

Cuando los estándares de mano de obra deben determinarse anticipadamente a la ejecución de una operación, se pueden utilizar los **estándares de tiempo predeterminados**, que utilizan datos desarrollados históricamente para los movimientos fundamentales del cuerpo, para elementos de las operaciones y para operaciones completas. Generalmente se emplean estos estándares cuando se requieren estimaciones de costo o informes de precio para nuevas operaciones o nuevos productos.

Actualmente se utilizan muchos sistemas de estándares de tiempo predeterminados como factores de trabajo, medición del tiempo y métodos (MTM), tiempo de movimientos básicos (BMT) y todo un conjunto de sistemas diseñados especialmente para trabajos individuales. Para demostrar el uso de estos sistemas examinaremos el desarrollo de los estándares de mano de obra (MTM) en el ejemplo 16.4. En este ejemplo, un gerente debe estimar el costo de la mano de obra para una nueva inspección y limpieza de diodos eléctricos. MTM es una excelente elección cuando deben ejecutarse trabajos de ensamble ultraligero en una pequeña área geográfica y cuando se requieren estándares de mano de obra rápidos, precisos y de bajo costo.

Ejemplo 16.4

Desarrollo de estándares de mano de obra con MTM

Carlos Sánchez, superintendente de producción de Diocom, fabricante de diodos para la industria electrónica, acaba de solicitar una estimación del costo adicional por mano de obra, si ha de inspeccionarse y limpiar el diodo XG1500 de la empresa. Esta solicitud se originó por una falla reciente del componente en el campo. A Amanda Jones, ingeniero industrial, se le explica la forma en que se realizaría la nueva operación de inspección, quien dice a Carlos que tendrá lista una estimación en una hora y desaparece hacia su oficina.

TABLA 16.11 TÉCNICAS APROPIADAS DE MEDICIÓN DEL TRABAJO PARA ALGUNAS ACTIVIDADES

Trabajo	Técnica apropiada de medición del trabajo
1. Trabajo ejecutado por un solo empleado en una ubicación fija. La tarea involucra ciclos de trabajo breves, repetitivos y se espera que continúe relativamente sin cambios durante largos periodos y, al mismo tiempo, produzcan grandes cantidades de volúmenes. Los estándares de mano de obra resultantes deben ser muy precisos.	Estudio de tiempos
2. Trabajo ejecutado por un solo empleado en una ubicación fija. La labor involucra ciclos cortos repetitivos y se modificará periódicamente conforme cambien los pedidos de los clientes para cantidades relativamente pequeñas de productos. Los estándares de mano de obra se utilizan para la contabilidad de los estándares de costo, análisis de precios y planeación de la producción.	Estándares de tiempo predeterminados.
3. Trabajo ejecutado por muchos empleados en un área compacta. Las tareas pueden involucrar poca repetición, pero si es repetitivo, por lo general los ciclos son muy largos. Los trabajadores deben estudiarse por un solo analista. Aunque es deseable un grado moderado de precisión en los estándares de mano de obra, un estudio de tiempos resultaría demasiado costoso. Solamente es necesarios observar los grandes elementos del trabajo; se requiere poco detalle en el establecimiento de los estándares de mano de obra.	Muestreo del trabajo
4. Cualquier trabajo o grupo de trabajos en el cual no se requieran de estándares de mano de obra muy precisos o en los que el costo del estudio de tiempos, estándares de tiempo predeterminados o muestreo del trabajo resulte prohibitivo.	Estándares de mano de obra establecidos subjetivamente.

1. Establecer marcas de referencia o estándares contra los cuales medir el desempeño real de las operaciones. El objetivo es mejorar la productividad de la mano de obra.
2. Establecer estimaciones de contenido de mano de obra en las operaciones, como ayuda de planeación para los gerentes de operaciones. Estas estimaciones se pueden utilizar para comparar métodos de producción, efectuar estimaciones de costo, determinar los precios de los productos y establecer tarifas de pago de incentivos.

Los estándares de mano de obra son dinámicos y deben modificarse conforme cambian las condiciones del trabajo. La naturaleza dinámica de los estándares de mano de obra es importante, ya que conforme las empresas luchan para una mejora continua, los estándares deben ajustarse a métodos de trabajo nuevos y mejorados. Un tipo de modificación que afecta a todos los trabajos es el hecho que los empleados aprenden y, conforme lo hacen, se reducen los tiempos de producción.

CURVAS DE APRENDIZAJE

En 1925, el comandante de la Wright-Patterson Air Force Base en Dayton, Ohio, observó que los trabajadores exhibían patrones definidos de aprendizaje en las operaciones de manufactura.[6] A partir de estos primero estudios, hemos aprendido que la mayoría de las tareas de manufactura de aviones experimentan una tasa de aprendizaje de 80%, es decir, las horas de mano de obra requeridas para ensamblar una aeronave se reducen en un factor de 0.8 al duplicar la cantidad de producción. La figura 16.6 muestra de que manera el aprendizaje de los trabajadores hace que las horas de mano de obra por unidad se reduzcan conforme aumenta la cantidad de unidades producidas. Si el primer avión ensamblado requiere de 100 horas de mano de obra, el segundo requerirá de $0.8 \times 100 = 80$ horas de mano de obra, el cuarto requeriría $0.8 \times 80 = 64$ horas de mano de obra, el octavo $0.8 \times 64 = 51.2$ horas de mano de obra, y así sucesivamente.

El concepto de la curva de aprendizaje es bien aceptada por los gerentes de operaciones porque saben, por experiencia, que al principio de las corridas de producción los trabajadores no están familiarizados con su tarea y la cantidad de tiempo requerida para producir las primeras unidades es elevada, pero conforme los trabajadores aprenden, su caudal por día se incrementa, hasta llegar a un punto y a continuación se nivela a una tasa de volumen constante. Además, los

FIGURA 16.6 CURVA DE APRENDIZAJE DEL ENSAMBLE DE AVIÓN DE 80%

Unidad de orden n producida	Horas de mano de obra para la unidad de orden n
1	100.0
2	80.0
4	64.0
8	51.2
16	41.0
32	32.8
64	26.2
128	21.0

conceptos de la curva de aprendizaje se basan en estos principios: 1) Donde existe vida puede haber aprendizaje. 2) Mientras más compleja sea la vida, mayor puede ser la tasa de aprendizaje. Las operaciones al ritmo del trabajador son más susceptibles de aprendizaje o pueden dar tasas mayores de progreso que operaciones al ritmo de máquina. 3) La tasa de aprendizaje puede ser lo suficientemente regular para poder ser predecible. Las operaciones pueden desarrollar tendencias que son características de sí mismas.[7] Se observa que los trabajadores mejoran su coordinación de ojos y manos, aprenden a ejecutar tareas y desarrollan habilidades técnicas conforme adquieren mayor experiencia en la ejecución de ciertas operaciones. Resulta útil ser capaz de analizar estas situaciones de aprendizaje de los trabajadores y poder estimar: 1) la cantidad promedio de horas de mano de obra requeridas por unidad para N unidades en una corrida de producción, 2) la cantidad total de horas de mano de obra requeridas para producir N unidades en una corrida de producción 3) la cantidad exacta de horas de mano de obra requeridas para producir la unidad de orden n de una corrida de producción.

Hay tres métodos para resolver problemas de la curva de aprendizaje: el análisis aritmético, el análisis logarítmico y las tablas de la curva de aprendizaje.

ANÁLISIS ARITMÉTICO

El análisis aritmético es el procedimiento más simple para resolver los problemas de la curva de aprendizaje, ya que se basa en este procedimiento fundamental: conforme se duplica la cantidad de unidades producidas, las horas de mano de obra por unidad se reducen en un factor constante. Este

TABLA 16.12 VALORES DE LA CURVA DE APRENDIZAJE PARA b

Tasa de aprendizaje	b
70%	−0.515
75%	−0.415
80%	−0.322
85%	−0.234
90%	−0.152

procedimiento fue presentado en la figura 16.6. Por ejemplo, si sabemos que la tasa de aprendizaje es de 80% de una operación en particular, y sabemos que la primera unidad de producción utilizó 100 horas de mano de obra, las horas de mano de obra requerida para producir la octava unidad serán:

Unidad de orden n producida	Horas de mano de oora para la unidad de orden n
1	100.0
2	80.0
4	64.0
8	51.2

Siempre que deseemos encontrar las horas de mano de obra requeridas para la producción de n unidades, y n resulta ser un número que es uno de los valores duplicados, entonces este procedimiento funciona. Pero, ¿qué pasa si deseamos saber la cantidad de horas de mano de obra requeridas para producir la unidad siete? El análisis aritmético no nos deja responder con precisión esta pregunta, pero el análisis logarítmico sí la resuelve.

ANÁLISIS LOGARÍTMICO

En el análisis logarítmico, esta relación nos permite comparar T_n, las horas de mano de obra requeridas para producir la unidad de orden n:

$$T_n = T_1(n^b) \quad y \quad b = \log r/\log 2$$

donde T_1 son las horas de mano de obra para producir la primera unidad, b es la pendiente de la curva de aprendizaje y r es el porcentaje de la tasa de aprendizaje. Los valores de b se encuentran en la tabla 16.12. Por ejemplo, si sabemos que la tasa de aprendizaje de operaciones es de 80% y que la primera unidad de producción utilizó 100 horas de mano de obra, las horas de mano de obra requeridas para producir la séptima unidad son:

$$T_n = T_1(n^b)$$
$$T_7 = 100(7^{-0.322}) = 53.4 \text{ horas de mano de obra}$$

El método de la tabla de la curva de aprendizaje nos permite responder a preguntas como la que se hizo arriba. También podemos dar respuesta a otras preguntas importantes.

TABLAS DE LA CURVA DE APRENDIZAJE

La tabla 16.13 nos da dos coeficientes de la curva de aprendizaje y nos permite calcular no sólo las horas de mano de obra para la unidad de orden n en una corrida de producción, sino el total de horas de mano de obra para toda la producción, donde la unidad de orden n es la última unidad de la corrida. El ejemplo 16.5 ilustra el uso de los coeficientes de la tabla.

TABLA 16.13 COEFICIENTES DE LA CURVA DE APRENDIZAJE

	75%		80%		85%		90%	
Unidad número	Tiempo unitario	Tiempo total	Tiempo unitario	Tiempo total	Tiempo unitario	Tiempo total	Tiempo unitario	Tiempo total
1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2	.750	1.750	.800	1.800	.850	1.850	.900	1.900
3	.634	2.384	.702	2.502	.773	2.623	.846	2.746
4	.562	2.946	.640	3.142	.723	3.345	.810	3.556
5	.513	3.459	.596	3.738	.686	4.031	.783	4.339
6	.475	3.934	.562	4.229	.657	4.688	.762	5.101
7	.446	4.380	.534	4.834	.634	5.322	.744	5.845
8	.422	4.802	.512	5.346	.614	5.936	.729	6.574
9	.402	5.204	.493	5.839	.597	6.533	.716	7.290
10	.385	5.589	.477	6.315	.583	7.116	.705	7.994
11	.370	5.958	.462	6.777	.570	7.686	.695	8.689
12	.357	6.315	.449	7.227	.558	8.244	.685	9.374
13	.345	6.660	.438	7.665	.548	8.792	.677	10.05
14	.334	6.994	.428	8.092	.539	9.331	.670	10.72
15	.325	7.319	.418	8.511	.530	9.861	.663	11.38
16	.316	7.635	.410	8.920	.522	10.38	.656	12.04
17	.309	7.944	.402	9.322	.515	10.90	.650	12.69
18	.301	8.245	.394	9.716	.508	11.41	.644	13.33
19	.295	8.540	.387	10.10	.501	11.91	.639	13.97
20	.288	8.828	.381	10.49	.495	12.40	.634	14.61
21	.283	9.111	.375	10.86	.490	12.89	.630	15.24
22	.277	9.388	.370	11.23	.484	13.38	.625	15.86
23	.272	9.660	.364	11.59	.479	13.86	.621	16.48
24	.267	9.928	.359	11.95	.475	14.33	.617	17.10
25	.263	10.19	.355	12.31	.470	14.80	.613	17.71
30	.244	11.45	.335	14.02	.450	17.09	.596	20.73
35	.229	12.62	.318	15.64	.434	19.29	.583	23.67
40	.216	13.72	.305	17.19	.421	21.43	.571	26.54
45	.206	14.77	.294	18.68	.410	23.50	.561	29.37
50	.197	15.78	.284	20.12	.400	25.51	.552	32.14
60	.183	17.67	.268	22.89	.383	29.41	.537	37.57
70	.172	19.43	.255	25.47	.369	33.17	.524	42.87
80	.162	21.09	.244	27.96	.358	36.80	.514	48.05
90	.155	22.67	.235	30.35	.348	40.32	.505	53.14
100	.148	24.18	.227	32.65	.340	43.75	.497	58.14
120	.137	27.02	.214	37.05	.326	50.39	.483	67.93
140	.129	29.67	.204	41.22	.314	56.78	.472	77.46
160	.122	32.17	.195	45.20	.304	62.95	.462	86.80
180	.116	34.54	.188	49.03	.296	68.95	.454	95.96
200	.111	36.80	.182	52.72	.289	74.79	.447	105.0
250	.101	42.08	.169	61.47	.274	88.83	.432	126.9
300	.094	46.94	.159	69.66	.263	102.2	.420	148.2
350	.088	51.48	.152	77.43	.253	115.1	.411	169.0
400	.083	55.75	.145	84.85	.245	127.6	.402	189.3
450	.079	59.80	.140	91.97	.239	139.7	.395	209.2
500	.076	63.68	.135	98.85	.233	151.5	.389	228.8
600	.070	70.97	.128	112.0	.223	174.2	.378	267.1
700	.066	77.77	.121	124.4	.215	196.1	.369	304.5
800	.062	84.18	.116	136.3	.209	217.3	.362	341.0
900	.059	90.26	.112	147.7	.203	237.9	.356	376.9
1,000	.057	96.07	.108	158.7	.198	257.9	.350	412.2
1,200	.053	107.0	.102	179.7	.190	296.6	.340	481.2
1,400	.050	117.2	.097	199.6	.183	333.9	.333	548.4
1,600	.047	126.8	.093	218.6	.177	369.9	.326	614.2
1,800	.045	135.9	.090	236.8	.173	404.9	.320	678.8
2,000	.043	144.7	.087	254.4	.168	438.9	.315	742.3
2,500	.039	165.0	.081	296.1	.160	520.8	.304	897.0
3,000	.036	183.7	.076	335.2	.153	598.9	.296	1,047.0

Los especialistas no de línea rutinariamente utilizan la teoría de la curva de aprendizaje para desarrollar estimaciones de costo de mano de obra para nuevos productos y servicios. Por ejemplo, las empresas que fabrican productos para los organismos militares estadounidenses, la NASA y empresas fuera de sus propias compañías, de manera rutinaria utilizan las curvas de aprendizaje para estimar la cantidad de mano de obra que se requerirá en cada contrato. Este uso permite que las empresas preparen estimaciones de costo y precios de los productos para efectos de licitación.

En la práctica, la aplicación de las curvas de aprendizaje puede resultar difícil, dado que:

1. Pudiera ser imposible desarrollar estimaciones precisas de horas de mano de obra para la primera unidad o determinar la tasa apropiada de aprendizaje. Grandes proyectos únicos exhiben estas dos dificultades.
2. Diferentes trabajadores tienen tasas de aprendizaje diferentes. En un sentido estricto, la teoría de aprendizaje es aplicable únicamente a trabajadores individuales, pero, desarrollando una **tasa promedio de aprendizaje**, se presentan pocas dificultades en la aplicación de las curvas de aprendizaje a grupos de trabajadores, pero nos podemos meter en problemas cuando aplicamos curvas de aprendizaje a agregados adicionales, como el costo de la mano de obra directa por unidad, el costo de la mano de obra indirecta por unidad, el costo de los materiales por unidad o, incluso, las horas de mano de obra de un departamento de producción. Aunque se puede observar que estos agregados mejoran conforme se incrementan los volúmenes, debemos recordar que los trabajadores individuales aprenden, y que los materiales y las máquinas no lo hacen. La aplicación de las curvas de aprendizaje a estas medidas agregadas deben por lo tanto basarse en una evidencia de mejoría substancial.
3. Pocos productos son totalmente únicos. Por lo general, los trabajadores están bien capacitados en la terminación de tareas dentro de su clasificación de habilidad. Por lo tanto, el desempeño pasado de tareas relacionadas da como resultado un aprendizaje latente, que se transfiere a productos y servicios nuevos. Conforme se reducen el tamaño de los lotes a través del programa de justo a tiempo, los trabajadores producirán aproximadamente la misma cantidad de partes anualmente, pero en lotes muchos más numerosos y pequeños, ¿cuánto aprendizaje se transfiere de un lote al siguiente y qué significa el concepto de la primera unidad en un escenario de ese tipo?

Estas y otras dificultades hacen que tengamos mucho cuidado en la aplicación de las curvas de aprendizaje.

SALUD Y SEGURIDAD DE LOS EMPLEADOS

Los riesgos son inherentes a la mayoría de los puestos. Los empleados pueden caerse en pisos resbaladizos, caerse de escaleras, tropezar con obstáculos, que una parte de su ropa o de sus cuerpos queden atrapados en bandas, engranes, herramientas de corte, troqueles o taladros; pueden ser golpeados por piezas que despiden esmeriles y virutas de metal de tornos, y así sucesivamente. El tiro de los elevadores, escaleras, balcones, equipo de movimiento pesado, autotransportes, fuegos, explosiones, electricidad de alto voltaje, metales fundidos, productos químicos tóxicos, humos tóxicos, polvo y ruido representan riesgos para los empleados. Éstos y otros peligros siempre han estado cerca de nosotros, no son nuevos. Lo que quizás es nuevo es el conjunto creciente de leyes y reglamentos gubernamentales que tienen la pretensión de proporcionar a los empleados situaciones seguras de trabajo en todos los estados, industrias y empresas.

En la actualidad, la gerencia se ha preocupado de la seguridad y la salud de los empleados. Esta preocupación fue evidente al principio del siglo en el establecimiento de departamentos de seguridad y de prevención de pérdidas, antes que las leyes obligaran a los empleadores a cumplir con estándares de seguridad impuestas por el gobierno. El movimiento hacia la administración de personal de principios de los años 1900 y el movimiento hacia las relaciones humanas de los años 1940 contribuyeron a este desarrollo. Estos movimientos enfatizaron la necesidad de proteger a los trabajadores en el puesto y contribuyeron directamente al número creciente de programas formales de seguridad en el gobierno y en la industria.

También dos conjuntos de leyes han afectado vitalmente la salud y seguridad de los empleados: las leyes compensatorias de los trabajadores y el Occupational Safety and Health Administra-



Muchas empresas tienen departamentos de prevención de seguridad y de pérdidas que trabajan para el diseño de dispositivos de seguridad y procedimientos dirigidos a la protección de los trabajadores, aumentar la concientización de los empleados y a minimizar los riesgos generados por error humano.

tion Act (OSHA) en Estados Unidos. Al principio de los años 1900, el gobierno gradualmente dictó **leyes de compensación para los trabajadores**. Estas leyes proveían una cantidad específica en compensación dirigida a los empleados que habían sufrido diversos tipos de lesiones incurridas durante el trabajo. Los empleados ya no estaban obligados a ir a juicio en las cortes y probar que hubo negligencia de los patrones. Adicionalmente, los trabajadores estaban protegidos por el límite máximo de estos convenios y la cantidad de juicios era reducido.

A pesar de que las leyes de compensación de los trabajadores representaban un gran avance hacia la compensación de los empleados, una vez que éstos se habían lesionado en el trabajo, tres hechos se oponían a su efectividad para garantizar condiciones seguras de trabajo:

1. Dado que las leyes variaban entre estados e industrias, este mosaico de reglamentos creaba grandes huecos en la cobertura y una extrema variación de compensaciones para lesiones similares.
2. La inflación y la enorme elevación en el costo de los cuidados a la salud han hecho que las cantidades por compensación, incluidas en la mayoría de estas leyes, sean inadecuadas.
3. Las leyes no atacan directamente al problema de la salud y la seguridad de los trabajadores, que es la creación de un entorno seguro de trabajo para los empleados.

Estas y otras deficiencias de las leyes de compensación de los trabajadores y otros desarrollos contemporáneos llevaron a la emisión en 1971 del **Occupational Safety and Health Administration Act (OSHA)**. OSHA estableció una oficina federal cuyas funciones principales eran fijar estándares de seguridad para todas las áreas del entorno de trabajo, todas las industrias y obligar al cumplimiento de estos estándares a través de un sistema de inspección y de informes. Esta ley reconoció oficialmente, quizás por primera vez, el derecho básico de todos los trabajadores a un entorno de trabajo seguro, independientemente del estado, industria o empresa en las cuales trabajaran.

Ninguna empresa está fuera del alcance de OSHA. Sus inspectores visitan rutinariamente a los empleadores, realizan inspecciones, identifican situaciones inseguras en el trabajo o violaciones de las normas OSHA, exigen acciones colectivas de los empleadores y la ley puede obligar al cumplimiento a través de las cortes mediante multas e incluso mediante persecución criminal. OSHA es una fuerza verdadera a la que debe encarar la gerencia, pero no carece de críticos. Con sólo 1,200 inspectores, se le acusa de intentar proteger la seguridad de la salud de 55 millones de trabajadores, en 3.6 millones de lugares de trabajo. OSHA tiene 40 empleados para investigar y redactar reglas

INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 16.3

EXCELENTES MEJORAS DE LA SEGURIDAD EN GEORGIA-PACIFIC

En alguna época, a usted no se le podía considerar como un verdadero empleado de aserradero de Georgia-Pacific, si no le faltaban algunos dedos. Ahora, después de un reorganización corporativa, la seguridad es primero.

La industria de productos forestales ha experimentado históricamente una elevada tasa de accidentes de empleados, en parte debido al uso de herramientas de corte, de equipo pesado y al enorme peso de los maderos y algunos productos de madera. Hace siete años, las 241 plantas y aserraderos operados por Georgia-Pacific tenían un terrible historial de seguridad. Con más de 47,000 empleados, cada año ocurrían nueve lesiones serias por cada 100 empleados, y durante los cinco años anteriores, 26 empleados perdieron la vida en el puesto.

Sin embargo, la situación de seguridad empezó a cambiar cuando Pete Correll ocupó el puesto de presidente y director ejecutivo de Georgia-Pacific (GP). Después de una cruzada de seguridad de seis años en toda la empresa, GP ha registrado el mejor historial de seguridad de la industria en los últimos cuatro años. El año pasado, 80% de sus plantas operaron sin ninguna lesión y, lo mejor de todo, nadie murió en ningún sitio. La tasa de accidentes por lesiones serias de GP el año pasado fue inferior a tres lesiones por cada 100 empleados, después de haberse reducido en cada uno de los seis años anteriores.

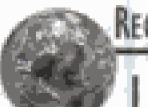
Con una meta de cero accidentes, GP continua capacitando a sus empleados en prácticas seguras y está intentando encontrar nuevas maneras de proporcionar un entorno de trabajo más seguro.

Fuente: Fisher, Anne. "Danger Zone." Fortune, 8 de septiembre, 1997, 165–167.

de salud y seguridad. En la historia de OSHA, apenas si ha emitido 60 reglamentaciones. Cada reglamentación pasa a través de un periodo de gestación de siete años en promedio. Todo lo que propone OSHA es sujeto a revisión, análisis y estudios detallados de la White House Office of Management and Budget. Su presupuesto, a principios de los años 90, era de 294 millones de dólares. El presupuesto administrativo presidencial es de aproximadamente la misma cifra, y el Fish and Wildlife Service recibe casi el doble que OSHA.[8] Hay seis veces más inspectores de caza y pesca que inspectores de seguridad en el trabajo. Los riesgos laborales causan la muerte de hasta 80,000 trabajadores estadounidenses todos los años.[9] Los críticos de OSHA creen que los esfuerzos federales para mejorar la salud y la seguridad de los trabajadores deben intensificarse.

Las ciudades, condados y estados también participan en la reglamentación y/o inspección de las condiciones de trabajo de la seguridad de las operaciones. En California, por ejemplo, una planta manufacturera puede esperar inspecciones relacionadas con riesgos por incendio de manera periódica de estas fuentes: 1) Inspectores internos, 2) inspectores divisionales y corporativos, 3) jefe de bomberos de la ciudad, 4) jefe de bomberos del condado, 5) jefe de bomberos estatal, 6) OSHA, 7) compañías aseguradoras, 8) inspectores sindicales. Estas y otras fuentes de reglamentación de las operaciones forman una red de protección de la seguridad del trabajador, que debería proporcionar una diligencia continuada en el diseño de puestos seguros para los empleados.

Los gerentes experimentados saben, sin embargo, que los empleados seguirán lesionándose y su salud dañándose. Los gerentes, por lo tanto, establecen **departamentos de prevención de seguridad y de pérdidas.** No sólo estos departamentos interactúan con todas las fuentes de inspección de seguridad, sino que estos especialistas también diseñan dispositivos y procedimientos de seguridad dirigidos a la protección de los empleados, a elevar su concientización y a diseñar campañas publicitarias para minimizar riesgos que provengan del error humano. Estas y otras actividades se realizan no sólo debido a que se trata de la ley, sino a que es algo correcto y ético y, además, resulta buen negocio. Cuando las condiciones de trabajo son seguras, la moral de los empleados y la productividad de la mano de obra tienden a ser más elevadas, y los costos directos de los accidentes tienden a reducirse. Por lo tanto, la administración tiene mucho invertido en el mantenimiento de un entorno seguro de trabajo para los empleados. La Instantánea industrial 16.3 describe las mejoras de seguridad en Georgia-Pacific.



RECOPILACIÓN

LO QUE HACEN LOS PRODUCTORES DE CLASE MUNDIAL

Conforme luchan por alcanzar los mercados mundiales, los productores de clase mundial reconocen que sus empleados son de importancia estratégica y táctica. Los empleados son de importancia estratégica, ya que afectan directamente los costos de los productos y su calidad, la satisfacción del cliente y la implementación con éxito de iniciativas tales como la instalación de sistemas de producción de alta tecnología, de JIT y de TQM. De hecho, los empleados llevan a cabo las estrategias empresariales. Pero los trabajadores también tienen una importancia táctica: las actividades cotidianas de obtener pedidos de los clientes a tiempo, dentro de los estándares de costo y calidad, deberán ser realizados por los empleados.

La producción en masa ha significado tradicionalmente que los trabajadores de producción lleven a cabo pequeñas fracciones de un trabajo tan especializado en que se requería poca habilidad o capacitación mental. Durante largo tiempo, el sistema de producción en masa funcionó: los costos eran bajos y la calidad aceptable, pero estos sistemas eran tan inflexibles que se olvidaron de los clientes y la actitud de los trabajadores se deterioró, hasta que los costos se elevaron y la calidad del producto ya no era lo suficientemente buena.

Los productores de clase mundial han tomado un camino diferente. Ahora contratan trabajadores que tengan capacidad de resolución de problemas y que estén capacitados en forma cruzada e instruidos, y con suficiente autoridad para que puedan trabajar en equipo para resolver los problemas de la producción y estar listos para modificar cosas a fin de responder a las necesidades del cliente. Estas empresas pueden aplicar de 5 a 10% de sus desembolsos totales de mano de obra a capacitación e instrucción de los empleados; además, se desarrolla una estructura y clima organizacional que alienta su uso integral. La retribución es obtener una mayor productividad, una mejor calidad de productos y un aumento en la sensibilización a las necesidades del cliente son esenciales para las empresas que aspiran a ser productores de clase mundial.

Alcanzar mejoras significativas en la productividad de la mano de obra requiere más que trabajadores motivados. La calidad debe mejorarse y se deben tener las máquinas, herramientas y tecnologías de producción más modernas. También, los productos deben estar diseñados para su facilidad de fabricación. Las empresas de clase mundial han invertido grandes sumas en tecnología de manufactura de punta. Los empleados son la clave para una introducción con éxito de esta tecnología de avanzada, y sus habilidades e instrucción deberán mantenerse actualizadas, si es que estos sistemas avanzados de producción deben seguir siendo efectivos. Esto subraya la necesidad de capacitación y creación de un clima de organización colaboradora, en el que se aliente la iniciativa individual y de grupo. De esta manera, la tecnología avanzada de la producción crea la necesidad de maneras innovadoras de desarrollar y administrar a los empleados.

La información es el medio principal de la administración para los productores de clase mundial. Toda la acción administrativa inteligente se basa en la información. Se utilizan estándares de mano de obra científicamente desarrollados con gran ventaja, conforme se planea y se controla la producción, se estiman los costos, se establecen los estándares de mano de obra contables y el precio de los productos. En su cruzada por mejorar continuamente cada una de las facetas de sus operaciones, los productores de clase mundial utilizan estándares precisos de mano de obra, como marcas de referencia para medir su progreso.



PREGUNTAS DE REPASO Y ANÁLISIS

1. Describa la actitud general de los empleados de la industria hacia su trabajo. ¿Qué explicación puede dar a esta actitud?
2. Defina *productividad*. ¿De qué manera deberíamos medir la productividad? ¿Por qué las empresas deben preocuparse particularmente por la productividad?
3. Dada la conformación de los costos de producción de los fabricante estadounidenses, ¿qué recursos deben recibir atención de los programas para la mejora de la productividad? ¿Por qué?
4. Explique por qué se requiere un procedimiento multifactor para medir la productividad.
5. ¿Cuáles son las tres variables que afectan la productividad de la mano de obra? ¿En qué condiciones deberemos esperar que los empleados, cuyas necesidades ya están satisfechas, sean productivos?
6. Describa la pirámide de necesidades de Maslow. ¿Qué significado tiene la jerarquía para los gerentes de operaciones?
7. Haga tres sugerencias para cada uno de los siguientes puntos:
   a. Modificar las tareas de los puestos de los empleados para mejorar la necesidad de autocontrol de los empleados.

En meses recientes, las ventas de Bratz en la región del sur se han reducido 10% en comparación con periodos pasados. Bill se desespera por encontrar alguna razón, como alguna disminución en la economía en general o en actividad de los competidores, para explicar la reducción en ventas. Después de mucha investigación, sin embargo, Bill ha llegado a la conclusión de que la reducción en la productividad, entre los vendedores, se debe a falta de motivación.

a. Utilice la teoría de la motivación para explicar de qué manera los empleados que están satisfechos con sus puestos podrían resultar improductivos.
b. ¿Qué es lo que está haciendo Bill mal?
c. ¿De qué manera podría Bill corregir esta situación? Dé los pasos específicos que deberá seguir para mejorar la productividad del personal de ventas de la región.

2. Mercury Electric fabrica motores eléctricos en Watertown, Connecticut. El departamento de ingeniería industrial de Mercury ha tenido éxito en el diseño de puestos de línea de ensamble altamente especializados y técnicamente eficientes. De hecho, la línea de ensamble Mercury es tan refinada, que su costo de mano de obra por unidad es inferior a la de cualquiera de sus competidores, a pesar de que sus trabajadores están recibiendo la paga anual promedio más elevada de la industria. Cuando los trabajadores de Mercury recientemente fueron entrevistados por un presentador nacional de televisión, sus comentarios fueron:

- Nos gusta trabajar en Mercury; no trabajaríamos en ningún otro sitio.
- La paga es buena y, además, nos gusta la forma en que nos trata la gerencia.
- Nuestros capataces son grandes personas. Usted sabe que trabajamos duro, pero usted puede contar en ellos para que le den un trato justo y lo apoyen.
- Si se equivoca, ellos no lo crucificarán; seguro que dirán lo que hicimos mal y nos pedirán que evitemos el problema en el futuro, pero no hacen un escándalo al respecto.
- Cuando hacemos un buen trabajo, con rapidez se presentan para hacernos saber que aprecian nuestra labor.
- Si tenemos un problema, podemos entrar directamente a la oficina del jefe y tratar el asunto. Esto da resultado. Y si él tiene un pedido urgente que necesita ser producido y embarcado con rapidez, bajará directamente a la línea y nos lo comentará. Apreciamos la forma en que se habla abiertamente aquí. Se trata de una calle de dos vías, ¿sabe?
- Seguro, el trabajo en la línea de ensamble puede resultar monótono, pero tomando todo en consideración, es el mejor trabajo que jamás he tenido.
- La calidad es buena, el absentismo es bajo y la rotación de personal es menor. Es un buen sitio para trabajar.

a. ¿Están estos trabajadores satisfechos de sus trabajos? Explique la forma en que estos trabajadores están satisfaciendo sus necesidades fisiológicas, de seguridad, sociales, de estima y de autorrealización.
b. ¿Por qué los trabajos monótonos de línea de ensamble de Mercury no han resultado en un elevado absentismo, elevada rotación y baja calidad del producto?
c. Un nuevo gerente de personal en Mercury insiste en que espera que se incremente el absentismo y la rotación de personal conforme se vayan contratando poco a poco en la planta trabajadores nuevos, más jóvenes, con una inferior tolerancia al aburrimiento en el puesto. ¿Qué remedios de diseño de puesto deberían ponerse a prueba? Justifique sus propuestas.

3. Mary Margret Tack administra una fábrica mediana de ropa en el Paso, Texas. La rotación y absentismo de los trabajadores han sido una plaga para su operación durante los dos años en que ha sido gerente de planta. El costo de contratar nuevos trabajadores y tener trabajadores de reserva para reemplazar trabajadores ausentes es excesivo. Con la ayuda de algo de personal y de personas de ingeniería de la oficina central en Oklahoma City, se efectuaron las siguientes estimaciones de ahorro en costo y incrementos de costo para remedios alternativos del diseño de puestos:

Remedio de diseño de puesto	Incremento promedio del costo por unidad debido a una eficiencia técnica reducida	Ahorro promedio de costo por unidad debido a una rotación y un absentismo reducidos
Rotación de los puestos	\$0.059	\$0.085
Enriquecimiento del puesto	0.092	0.129
Tiempo fuera de los puestos	0.065	0.055
Capacitación de los supervisores	0.057	0.090

a. Si sólo una de las propuestas puede aceptarse, clasifique los remedios en el orden de deseabilidad.
b. ¿Deberá Mary Margret reasignar sus ingenieros industriales a otra planta, dado que ya no necesita más estudios de tiempos?
c. ¿Son los remedios arriba citados mutuamente exclusivos, esto es, en la práctica, sólo uno de los remedios puede ser aplicado a la vez? ¿Existen algunas combinaciones probables?

4. Prepare un diagrama de flujo para ir al dentista para revisión, incluyendo rayos X y limpieza.

5. Prepare un diagrama de flujo para ir a un parque de árboles de Navidad, adquirir un árbol, llevarlo a casa y decorarlo.

6. Prepare un diagrama de procesos para ir al dentista para revisión, incluyendo rayos X y limpieza.

7. Prepare un diagrama de procesos para ir a un parque de árboles de Navidad, adquirir un árbol, llevarlo a casa y decorarlo.

8. Prepare un diagrama de flujo y un diagrama de procesos para elaborar una jarra de café en su cocina.

9. Vaya a la biblioteca de su escuela. Estudie el procedimiento para el préstamo de libros en el mostrador principal. Prepare un diagrama de procesos del método actual y uno para un método mejorado. ¿Cuáles son los ahorros estimados del método mejorado, en comparación con el actual, en dólares de ahorro por mano de obra y en tiempo de los clientes?

Estudios de tiempo

10. En un estudio de tiempo de una operación de manufactura, el tiempo promedio para completar un producto era de 36.5 minutos, la calificación de desempeño 1.20 y las tolerancias eran de 60 minutos para un turno de ocho horas.
    a. Calcule un estándar de mano de obra para la operación.
    b. ¿Cuántos productos por un turno de ocho horas se debe esperar produzca un operador experimentado bajo condiciones normales de operación?
    c. Si la tasa de mano de obra es de 15 dólares la hora, ¿qué cifra debe utilizar el departamento de contabilidad como el costo estándar de mano de obra por producto?

11. Un estudio de tiempo de una operación de clasificación postal rindió un tiempo promedio de 4.75 minutos por centenar de cartas clasificadas, una calificación de desempeño de 1.1 y tolerancias de 80 minutos en un turno de ocho horas
    a. Calcule el estándar de mano de obra para la operación de clasificación de cartas.
    b. Si un empleado postal se ocupara solamente de esa operación, ¿cuántos cientos de cartas en un turno de ocho horas podrían ser clasificados bajo condiciones normales de operación?
    c. Si la tasa de mano de obra es de 15 dólares la hora, ¿qué utilizaría el departamento de contabilidad como costo estándar de mano de obra por centenar de cartas?

12. Un trabajador de producción efectúa una determinada tarea sobre productos varias veces cada día. Un estudio de tiempos mostró que el tiempo promedio es de 10.75 minutos por producto, la calificación de desempeño es de 1.25 y las tolerancias son de 58 minutos por turno de ocho horas.
    a. Calcule el estándar de mano de obra de la operación.
    b. Si el técnico sólo efectuara esta tarea de manera repetida, ¿cuántos productos en un turno de ocho horas podría terminar, en condiciones normales de operación?
    c. Si la tasa de mano de obra del técnico es de 9.95 dólares la hora, ¿qué debería utilizar el departamento de contabilidad como costo estándar de mano de obra por producto?

13. Se realiza un estudio de tiempo sobre una operación, dando como resultado los datos siguientes (en minutos):

Elemento	Ciclos 1	2	3	4	5	6	7	8	Calificación del desempeño
1. Obtener y colocar la unidad	0.08	0.10	0.11	0.15	0.06	0.12	0.11	0.12	1.15
2. Efectuar la calibración	2.50	2.90	2.60	2.80	2.70	2.90	3.00	3.10	1.25
3. Efectuar pruebas estándar	3.90	3.85	4.19	3.50	3.50	3.72	3.60	4.21	0.95
4. Actualizar la tarjeta y remover la unidad	0.60	0.50	0.90	0.80	0.70	0.60	0.60	0.50	1.00

Tolerancias para un turno de ocho horas:

Cambio de ropa	10 minutos
Retraso inevitable	30
Almuerzo	30
Regadera y cambio	30
Total	100 minutos

    a. Calcule el tiempo medio observado de cada elemento en minutos.
    b. Calcule el tiempo normal de cada elemento y el tiempo normal total en minutos.
    c. Calcule la fracción de tolerancia para la operación.
    d. Calcule el estándar de mano de obra de la operación.

14. Una operación de producción es repetida por un trabajador dos veces para cada producto. Los datos que siguen provienen de un estudio de tiempo de la operación.

Elemento	Ciclo 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Calificación del desempeño
1	0.09	0.11	0.09	0.10	0.11	0.15	0.12	0.11	0.10	0.12	1.10
2	0.28	0.30	0.32	0.35	0.30	0.32	0.31	0.29	0.30	0.32	1.00
3	0.25	0.20	0.27	0.30	0.27	0.30	0.29	0.27	0.29	0.30	1.15
4	0.60	0.55	0.50	0.55	0.58	0.59	0.61	0.60	0.58	0.58	1.20
5		0.40			0.42			0.40			1.05
6	0.50	0.58	0.56	0.58	0.59	0.58	0.58	0.57	0.58	0.58	0.85

Tolerancia en un turno de ocho horas:

Cambio de ropa	5 minutos
Retrasos inevitables	22
Periodos de descanso	18
Limpieza del área	10
Regadera y cambio	30
Total	85 minutos

    a. Calcule el estándar de mano de obra de esta operación.
    b. Si la tasa de mano de obra es de 10.90 dólares la hora, ¿cuál es el costo contable estándar de mano de obra por producto para la operación?

c. ¿Cuántas veces se espera que el trabajador ejecute la operación durante cada turno de ocho horas?

Muestreo del trabajo

15. Las tolerancias de una operación de manufactura son de 60 minutos por turno de 10 horas. Si se va a hacer un estudio de muestreo del trabajo de las tolerancias, con un intervalo de confianza de 25%, y es aceptable un error absoluto de ±3%, ¿cuántas observaciones de muestreo del trabajo se requieren?

16. Actualmente, una operación de producción tiene 108 minutos de tolerancias durante cada turno de 12 horas. Debe conducirse un estudio de muestreo del trabajo sobre las tolerancias de operación. Si es aceptable un intervalo de confianza de 95% y un error absoluto de ±2%, ¿cuántas observaciones de muestreo de trabajo se requieren?

17. Un analista está realizando un estudio de tiempos y sabe que 75 minutos normalmente se dedican a periodos de descanso y almuerzo, pero debe estimar una tolerancia para un retraso inevitable. Se hizo un estudio de muestreo de trabajo de retrasos, con los siguientes resultados:

Actividad	Cantidad de observaciones
Retraso inevitable	29
Retraso evitable	59
Otros	387

¿Qué fracción de tolerancia deberá emplearse al establecer el estándar de mano de obra, si las tolerancias incluyen retrasos inevitables, el almuerzo y los periodos de descanso? Suponga 480 minutos por turno.

18. Se realizó un estudio de muestreo de trabajo en una operación de ensamble. Los resultados fueron:

Actividad	Porcentaje del tiempo del trabajador
Ensamblar producto	85%
Tolerancias	15

Si cada uno de los trabajadores que estaba efectuando la operación durante el estudio produjo un promedio de 100 productos en un turno de ocho horas, y recibió una calificación de desempeño de 1.15, ¿cuál es el estándar de mano de obra por producto?

19. Se completó un estudio del muestreo de trabajo de una operación de producción a lo largo de una semana de 40 horas. Durante el estudio, el operador completó 560 productos terminados y se calificó con un desempeño de 1.10 mientras trabajaba. Los resultados del estudio fueron:

Actividad	Cantidad de observaciones
Producción	425
Retraso evitable*	50
Periodos de descanso*	25

*incluido en las tolerancias.

a. Determine el tiempo total normal por producto.
b. Determine el estándar de mano de obra por producto.

Sistemas de pago por incentivos

20. Un empleado en un plan de incentivos acaba de terminar un periodo de paga de una semana. La información que aparece en su tarjeta de tiempo es:

Horas totales trabajadas = 45
Producción total = 250
Estándar de mano de obra por unidad = 10.575
Pago base = \$9.75 por hora

Si la empresa utiliza la fórmula siguiente para calcular el pago real por hora, ¿cuál es la paga del empleado durante el periodo?

$$\text{Pago real por hora} = \frac{(\text{Pago base})(\text{Unidades producidas})(\text{Estándar de mano de obra})}{\text{Minutos trabajados}}$$

21. Un empleado es un mecánico en un taller mecánico. La empresa ha instalado un sistema de pago de incentivos simple a destajo para sus empleados. Ha terminado un periodo de dos semanas de paga y el empleado está estimando su paga para el periodo a partir de la siguiente información:

Producción total = 200 unidades
Estándar de mano de obra por unidad = 34.50 minutos
Pago base = \$15.501 por hora

a. Calcule la tasa por pieza del empleado para este producto.
b. Calcule su paga para el periodo.

22. Un trabajador de producción ha terminado una semana de ensamblar productos en una planta de manufactura. La operación que lleva a cabo está incluida en un plan de compensación a destajo de la planta. Acaba de terminar su registro de producción y tiempo para entregárselo a su supervisor y desea determinar cuál es su paga de la semana. Su registro de producción y tiempo incluye la siguiente información:

Producción de la semana = 595 productos
Estándar de mano de obra por producto = 5.52 minutos
Pago base = \$15 por hora

a. Calcule la tasa por pieza por producto del trabajador.
b. Calcule la paga del trabajador para la semana.

23. El primer producto a través de una operación de producción toma 24 minutos, y se espera una tasa de aprendizaje de 85%.
a. Estime el tiempo que tomará producir el tercer producto.
b. Estime el tiempo total que tomará producir los primeros 20 productos.

24. A un fabricante le toma 120 horas producir el primer producto en un lote de 15 productos, y se espera una tasa de aprendizaje de 75%.
a. Estime el tiempo que tomará producir el cuarto producto.
b. Estime el tiempo total que tomará producir todo el lote.

25. Un negocio de ventiladores para techo acaba de recibir un contrato para instalar 70 ventiladores en un complejo departamental. En su licitación para el contrato, el propietario de la tienda estimó que el primer abanico tomaría 110 minutos instalarlo. El propietario también esperaba una tasa de aprendizaje de 90.
a. ¿Cuánto debería haber esperado el propietario que tomaría instalar el décimo ventilador?
b. ¿Cuánto debería esperar el propietario que tomaría instalar los 70 ventiladores para techo?
c. Los primeros 10 ventiladores de techo ya se han instalado y el propietario desea volver a evaluar cuánto tomará el trabajo. Como resultado, el primer ventilador de techo requirió de 130 minutos su instalación y el décimo ventilador 75.8 minutos. ¿Cuál es la tasa de aprendizaje real que se ha experimentado? Utilizando esta tasa real de aprendizaje, estime el tiempo total requerido para los 70 ventiladores.

do yo ayudarles de alguna manera, mi puerta está abierta. Simplemente acérquense y díganme cuáles son sus necesidades y nos pondremos en marcha." El grupo no negó que los niveles de producción de la operación podrían mejorarse sustancialmente. No hubo una inmediata respuesta del grupo, pero durante las siguientes dos semanas, ocurrieron varios contactos personales entre algunos individuos y el señor Gailer:

1. Mary Malviola entró en la oficina de Gailer durante un descanso por la tarde y dijo que el salón de bonetes era tan caluroso que todas las mujeres estaban exhaustas al final del turno. Sugirió que dos o tres ventiladores resolverían el problema. Gailer creía que el salón estaba caliente, quizás un poco más caliente que algunas de las ubicaciones de otras operaciones.
2. Mioke Kisama se acercó una mañana al señor Gailer en el estacionamiento antes del trabajo y le mostró sus manos. Tenia las uñas rotas y en sus manos aparecían varios arañazos, raspaduras y golpes. Le dijo que las nuevas máquinas estaban masticando las manos de las trabajadoras. Ellas tenían la impresión que algunos de los guantes de nuevo tipo que había visto en la tienda de la localidad resolverían el problema y preguntó al señor Gailer si podría suministrar dichos guantes a todo el grupo.
3. Mary Halalakala entró a la oficina principal durante un descanso por la tarde y pidió al señor Gailer que fuera con ella al salón de bonetes. Le acompañó a una ventana a lado oeste del salón. Le indicó que el sol brillaba directamente sobre los ojos de las trabajadoras durante el fin de la tarde y se preguntaba si era posible instalar una sombrilla, persianas o un parasol externo.
4. Bernadine Murphy, delegado sindical de la planta, entró en la oficina de Gailer durante el descanso matinal y le preguntó si apoyaría una fiesta navideña para toda la planta.

Tarea

1. ¿Por qué está deprimido el nivel de producción en la operación de bonetes? Analice las razones posibles del desarrollo del problema.
2. ¿Qué debería hacer el señor Gailer respecto a las solicitudes efectuadas por el grupo de bonetes? Analice los pros y contras de seguir su recomendación para responder a las solicitudes. ¿De qué manera su recomendación estaría dirigida al problema subyacente?
3. ¿Qué curso de acción debería tomar el señor Gailer para resolver el problema de la baja productividad y evitar que se repita?

INTEGRATED PRODUCTS CORPORATION

Un analista de producción en Integrated Products Corporation (IPC) acaba de terminar un estudio de tiempos de una prueba de control de calidad. A continuación aparecen los resultados del estudio (en minutos):

	Ciclo						Calificación de
Elemento	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**desempeño**
1. Obtener y colocar	0.25	0.19	0.18	0.21	0.24	0.20	1.20
2. Conectar sondas	0.40	0.45	0.36	0.34	0.41	0.43	1.10
3. Hacer la prueba con la computadora	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	1.00
4. Registrar los resultados	0.70	0.69	0.69	0.65	0.68	0.66	0.90

El analista ha determinado que para un turno de ocho horas, el tiempo no productivo de la operación debería ser de 20 minutos por un retraso inevitable, 15 minutos para el arranque de la operación al inicio del turno y 15 minutos para limpieza y ordenar las cosas al final de la operación.

Tarea

1. Calcule el estándar de mano de obra de la operación.
2. ¿Cuántas pruebas deberá un trabajador experimentado llevar a cabo en un turno de ocho horas, en condiciones normales de operación?

BIBLIOGRAFÍA SELECCIONADA

Abernathy, W. J. "The Limits of the Learning Curve". *Harvard Business Review* 52 (septiembre-octubre de 1974): 109–119.

Aft, Lawrence S. "The Need for Work Measurement: Some Observations on the Current State of Affairs in the Business World". *IIE Solutions* 29, no. 12 (diciembre de 1997): 16–19.

Andress, Frank J. "The Learning Curve as a Production Tool". *Harvard Business Review* 32 (enero-febrero de 1954): 87–95.

Boissevain, Andrea L. *Corporate Health & Safety : Managing Environmental Issues in the Workplace*. Southampton, PA: Ergonomics, 1997.

Cascio, Wayne F. *Managing Human Resources: Productivity, Quality of Work Life, Profits*. Nueva York: McGraw-Hill, 1995.

Christopher, William F., y Carl G. Thor, eds. *Handbook for Productivity Measurement and Improvement*. Cambridge, MA: Productivity Press, 1993.

Geare, A. J. "Productivity from Scanlon-Type Plans". *Academy of Management Review* 1 (julio de 1976): 99–108.

Hirschmann, Winfred B. "Profit from the Learning Curve." *Harvard Business Review* 42 (febrero de 1964): 118.

Jorgensen, Karen. *Pay for Results: A Practical Guide to Effective Employee Compensation*. Santa Monica, CA: Merrit Publishing, 1996.

Karger, Delmar W. *Advanced Work Measurement*. Nueva York: Industrial Press, 1982.

Karuppan, Corinne M. "Advanced Manufacturing Technology and Stress: Technology and Management Support Policies". *International Journal of Technology Management* 14, nos. 2–4 (1997): 254–264.

Kirkman, Bradley L., y Debra L. Shapiro. "The Impact of Cultural Values on Employee Resistance to Teams: Toward a Model of Globalized Self-Managing Work Team Effectiveness." *Academy of Management Review* 22, no. 3 (julio de 1997): 730–757.

MacLeod, Dan. *The Ergonomics Edge: Improving Safety, Quality, and Productivity*. Nueva York: John Wiley & Sons, 1997.

Meyers, Fred E. *Motion and Time Study : Improving Work Methods and Management*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1999.

Michaud, Patrick A. *Accident Prevention and OSHA Compliance*. Boca Raton, FL: Lewis Publishers, 1995.

Mundel, Marvin E., y David L. Danner. *Motion and Time Study: Improving Productivity*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1994.

Ost, Edward J. "Team-Based Pay: New Wave Strategic Incentives". *Sloan Management Review* (primavera 1990): 19–27.

Perry, Ian. "Creating & Empowering Effective Work Teams". *Management Services* 41, no. 7 (julio de 1997): 8–11.

Reguero, Miguel A. *An Economic Study of the Military Airframe Industry*. Wright-Patterson Air Force Base, OH: Department of the Air Force, octubre de 1957.

Seymour, Daniel. *Once Upon a Campus: Lessons for Improving Quality and Productivity in Higher Education*. Phoenix, AZ: Oryx Press, 1995.

Smith, Elizabeth A. *The Productivity Manual: Methods and Activities for Involving Employees in Productivity Improvement*. Houston, TX: Gulf Publishing, 1995.

Stamp, Daniel. *The Invisible Assembly Line: Boosting White-Collar Productivity in the New Economy*. Nueva York: American Management Association, 1995.

Sumanth, David J. *Total Productivity Management : A Systemic and Quantitative Approach to Compete in Quality, Price, and Time*. Boca Raton, FL: Saint Lucie Press, 1998.

Taylor, Tom. "How to Pay and Reward Multidiscipline Work Teams". *Journal of Compensation & Benefits* 12, no. 6 (mayo/junio de 1997): 30–33.

U.S. Department of Labor, Occupational Health and Safety Administration. *All About OSHA*. publicación OSHA No. 2056.

Wellins, Richard S., William C. Byham, y Jeanne M. Wilson. *Empowered Teams: Creating Self-Directed Work Groups That Improve Quality, Productivity, and Participation*. San Francisco: Jossey-Bass, 1991.

Yelle, Louis E. "The Learning Curve: Historical Review and Comprehensive Survey". *Decision Sciences* 10, no. 2 (abril de 1979): 302–328.

Capítulo 17

Administración de la calidad



Introducción

Naturaleza de la calidad
Dimensiones de la calidad
Determinantes de la calidad
Costos de la calidad

Administración tradicional de la calidad

Administración moderna de la calidad
Gurús de la calidad
La calidad impulsa a la máquina de la productividad
Otros aspectos de marco de la calidad

Nuevos estándares de calidad
Premio Nacional de Calidad Malcolm Baldrige
El Premio Deming
Estándares ISO 9000

Programas de administración de la calidad total (TQM)
Compromiso y participación de la alta dirección
Participación de los clientes
Diseño de los productos para la calidad
Diseño para la robustez • Diseño para la producción • Diseño para la confiabilidad
Diseño y control de procesos de la producción
Desarrollo de asociaciones con proveedores
Servicio, distribución e instalación en el cliente
Formación de equipos de empleados con autoridad
Programas de capacitación de los empleados • Equipo de trabajo y delegación de autoridad • Calidad en el origen • Círculos de calidad
Benchmarking y mejora continua

Administración de la calidad en los servicios

Recopilación: lo que hacen los productores de clase mundial

Preguntas de repaso y análisis

Tareas en Internet

Problemas

Casos
Administración de la calidad de Spectrum Control Inc.
Confiabilidad del producto en Valvco Inc.

Notas finales

Bibliografía seleccionada

La administración de la calidad en KFC

La administración de la calidad en las operaciones de servicio es tan vital como la administración de la calidad en las operaciones de manufactura. En las organizaciones de servicio, no sólo importa la calidad de los servicios y productos suministrados, también es importante la calidad de la forma en que se proporcionan dichos servicios.

Kentucky Fried Chicken (KFC) Corporation es una gran cadena de restaurantes de comida rápida propiedad de Pepsico, con más de 5,000 restaurantes con franquicia o propiedad de la empresa. Reconociendo la importancia de administrar la calidad de bienes y servicios en sus restaurantes, KFC adoptó un programa de administración de calidad en toda la empresa, con la esperanza de mejorar la productividad y la calidad. Su programa de administración de la calidad está constituido por dos componentes: 1) un programa de calidad, servicio y limpieza (QSC, por sus siglas en inglés) para juzgar la calidad de los servicios y alimentos proporcionados, desde la perspectiva del cliente y 2) un programa de revisión de instalaciones y operaciones (OFR), para medir el proceso de desempeño de implementación de un restaurante en comparación con las especificaciones de los procesos de KFC.

Como parte del programa QSC "compradores fantasma" contratados por KFC evalúan dos veces por mes la calidad, servicio y limpieza de los restaurante individuales. Los compradores fantasma llenan un formulario QSC estándar conforme califican cada uno de los restaurantes, de manera que las evaluaciones son objetivas, precisas y uniformes. Además, se utilizan encuestas a clientes y tarjetas de quejas para ayudar a evaluar la calidad en cada restaurante.

El objetivo del programa OFR es ayudar a KFC a asegurar la uniformidad de productos y servicios de alta calidad a que se han acostumbrado los clientes de KFC. El programa OFR mide el desempeño operativo de un restaurante, en comparación con los estándares de operación de KFC. Todas las semanas, el gerente general de cada restaurante completa un formulario estandarizado de evaluación OFR. Los gerentes también deben organizar programas de capacitación para los empleados del restaurante y mantener instalaciones, equipo y local de acuerdo con los estándares de operación de KFC.

Además de los programas QSC y OFR, en KFC utilizan a veces otras herramientas de control de calidad, como los diagramas de Pareto, los diagramas de espina de pescado y los diagramas de control para ayudar a mejorar la calidad de determinados procesos. De hecho, muchas mejoras en los procesos han sido el resultado del programa de administración de calidad de KFC y esas ideas se han difundido a todos sus restaurantes.[1]

Como se analiza en el relato anterior, la administración de la calidad es tan importante para las organizaciones de servicio como para las de manufactura. En la mayoría de las empresas, una calidad superior es el eje de su estrategia empresarial. Para ellas, lograr una calidad de producto casi perfecta es el medio principal de capturar una participación del mercado en la competencia global. La preeminencia de la calidad del producto en la estrategia empresarial proviene de la dolorosa experiencia de *que se puede perder mercado ante productos de precios inferiores, pero es posible recuperarlo mediante un producto de calidad superior*. Obtener un producto de calidad superior en una empresa requiere de un proceso a largo plazo para modificar la cultura básica de la organización. Este capítulo se refiere a la *administración de la calidad*, que es el proceso de redirigir la cultura de la organización hacia productos de calidad superior.

Naturaleza de la calidad

¿Qué es la calidad? Básicamente, las compañías no son quienes definen los bienes y servicios que producen, sino los clientes. *La calidad de un producto o servicio es el grado de percepción del cliente en que dicho bien cumple con sus expectativas*. Para comprender mejor la naturaleza de la calidad, analizaremos sus dimensiones, determinantes y costos.

TABLA 17.1 **ALGUNAS DIMENSIONES DE LA CALIDAD DE PRODUCTO**

- **Desempeño.** Lo bien que el producto o servicio cumple el uso pretendido por el cliente. Por ejemplo, la velocidad de una impresora láser.
- **Características.** Cualidades especiales que resultan atractivas para los clientes. Por ejemplo, los asientos eléctricos de un automóvil.
- **Confiabilidad.** La probabilidad de falla, mal funcionamiento o necesidad de reparaciones.
- **La capacidad de reparación.** La velocidad, costo y facilidad de reparaciones y mantenimiento.
- **Durabilidad.** El tiempo o cantidad de uso antes de necesitar reparación o remplazo.
- **Apariencia.** El efecto sobre los sentidos: apariencia, sensación, sabor, olor o sonido.
- **Servicio al cliente.** Trato que reciben los clientes antes, durante y después de la venta.
- **Seguridad.** Lo bien que los productos protegen a los usuarios antes, durante y después de su uso.

DIMENSIONES DE LA CALIDAD

Cuando los clientes evalúan la calidad, consideran varios aspectos de los productos y servicios. La tabla 17.1 describe algunas de las dimensiones que los clientes utilizan para evaluar la calidad. Estas dimensiones tienen importantes implicaciones. Las empresas tienen que considerar a los clientes al establecer estándares para medir la calidad; para obtener información de ellos se pueden utilizar encuestas y sugerencias. Hay muchos factores que afectan las expectativas de los clientes respecto a la calidad, como los productos de los competidores, y lo más probable es que estas expectativas cambien con el transcurso del tiempo; por lo tanto, los productos y servicios deben mejorarse conforme pasa el tiempo para cumplir con los cambiantes deseos de los clientes.

Las expectativas de calidad de los clientes no son las mismas para diferentes **grados o clases** de productos. Por ejemplo, nadie espera que los clavos para construcción sean obras de arte, diseñadas y producidas con los mismos estándares de excelencia que el Rolls Royce. Sin embargo, los clavos deben cumplir con su propósito pretendido y ser mejores que los de la competencia, lo que es un punto importante. El objetivo de muchas empresas es convertirse en lo que se conoce como **compañía de clase mundial.** *Por lo que se refiere a la calidad, convertirse en compañía de clase mundial significa que cada producto o servicio debe ser considerado por sus clientes como el* ***mejor en su clase***, lo que significa ser el mejor producto o servicio en una clase particular.

DETERMINANTES DE LA CALIDAD

Un problema clave es cómo lograr la calidad. Para ello se requiere realizar varias actividades para alcanzar ciertos logros:

- **Calidad del diseño.** Después de haber identificado a sus clientes, una compañía debe determinar lo que éstos desean de sus productos y servicios. Entonces, los productos y servicios se diseñan para que exhiban los atributos necesarios para cumplir las expectativas de sus clientes.
- **Capacidad de calidad de los procesos de producción.** Los procesos de la producción deben estar diseñados y construidos para que tengan la capacidad de ofrecer productos con atributos que desean los clientes.
- **Calidad de conformidad.** Las instalaciones de producción deben manejarse para producir operaciones y servicios que cumplan con las especificaciones de diseño y desempeño dirigidas a las expectativas de calidad de los clientes.
- **Calidad del servicio al cliente.** Todos los contactos entre cliente y empresa deben administrarse para que los clientes perciban que se les trata con justicia y cortesía, y que sus necesidades se atienden con prontitud, cuidado y atención.
- **Cultura de la calidad de la organización.** Toda la organización debe "energizarse" para diseñar, producir y atender productos y servicios que llenen las expectativas de los clientes. Deben haberse instalado mecanismos para mejorar continuamente cada una de las facetas de la organización, y enfocarse a conseguir niveles cada vez más elevados de satisfacción a clientes.

El procedimiento tradicional de administración de la calidad utiliza las inspecciones para identificar defectos en los productos.



Costos de la calidad

Hay costos asociados con la calidad de los productos y servicios; algunos se asocian con la prevención de la mala calidad y otros ocurren después de que ésta se presenta. Estos costos incluyen:

- **Desperdicio y retrabajo**. Cuando se encuentran productos defectuosos en fase de producción, deben enviarse a desperdicio o repararse. Los gastos incluyen los costos de producir artículos que se van a desperdicio; el costo de reparar, retrabajar o volver a probar productos defectuosos y los costos por retraso y documentación, reprogramación y otros problemas causados por productos defectuosos.
- **Productos defectuosos que llegan a los clientes**. Cuando los clientes reciben productos defectuosos, los costos pueden resultar enormes y difíciles de medir, y pueden incluir costos por garantía, juicios o convenios por responsabilidad a terceros, el costo de devoluciones o retornos, así como pérdidas de ventas y de confianza.
- **Detección de defectos**. Se refiere al costo de todas las actividades dirigidas a encontrar, productos y servicios que no cumplen con las especificaciones antes de enviarlos a los clientes. Esto incluye el costo de inspección, pruebas y otras actividades de control de calidad.
- **Prevención de defectos**, el costo de capacitación, de diagramar el desempeño de la calidad para estudiar tendencias, de revisar el diseño de los productos y efectuar cambio a los procesos de producción, de trabajar junto con los proveedores y de otras actividades dirigidas a mejorar la calidad y evitar defectos.

Aunque cada uno de estos costos puede ser elevado, es un hecho generalmente aceptado que los primeros tres, relacionados con la detección y el manejo de productos defectuosos, pueden aproximarse a 25 % del costo de ventas de muchas empresas. El enfoque tradicional de administración de la calidad ha enfatizado las actividades de detección y manejo de los defectos.

Administración tradicional de la calidad

Un factor que está impidiendo que algunas de las empresas estadounidenses superen a sus competidores del extranjero es su manera tradicional de ver el control de calidad. En este enfoque la forma de asegurar que los clientes reciban productos y servicios de calidad es mediante un riguroso

FIGURA 17.2 DIAGRAMA DE ESPINA DE PESCADO PARA LAS BURBUJAS EN LAS CAPAS DE LLANTAS DE AUTOMÓVIL

dito de haber popularizado la idea de que *la calidad impulsa a la máquina de la productividad*. Esto significa que si la producción se hace bien desde la primera vez y ofrece productos y servicios libres de defectos, se elimina el desperdicio y se reducen los costos. Con esta nueva manera de pensar se mejora la calidad de los productos y servicios, y al mismo tiempo mejora la productividad. Conforme mejora la calidad del producto, los costos disminuyen porque hay menos productos defectuosos, menos devoluciones de productos para trabajo en garantía y menos interrupciones en la producción. Se ha estimado que de 20 a 25% del costo general de los bienes vendidos en Estados Unidos se desembolsa en localizar y corregir errores.[6] *Los actuales programas de administración de calidad son vistos por muchas empresas como programas de mejora de la productividad.*

OTROS ASPECTOS DE MARCO DE LA CALIDAD

Otros aspectos también han contribuido a la calidad de productos y servicios actuales:

- **Manufactura justo a tiempo (JIT).** A JIT se le considera un sistema de resolución obligada de problemas. Dado que los inventarios en proceso se han reducido drásticamente al recortar el tamaño de los lotes, una interrupción hace que se detenga la producción, en tanto que se resuelve el problema que lo causa. Esto tiende a mejorar la calidad del producto de diferentes maneras. Dado que sólo existen unos cuantos componentes en el inventario en proceso, si ocurre un problema de calidad se producen menos componentes defectuosos antes de que se descubran, y dado que la producción se ha detenido hasta que se corrija el problema, la atención de todos está en resolver el problema de calidad para que no se repita. Además, el trabajo de equipo necesario para justo a tiempo contribuye a un mayor orgullo en la calidad del producto y un mejor desempeño de calidad.
- **Estandarización del producto.** Con menos diseños de productos y con producción repetitiva, los productos estándar se producen todos los días, las tareas de los puestos de los trabajadores se comprenden bien, los trabajadores están familiarizados con sus tareas y la calidad del producto puede mejorar.

TABLA 17.2 **EMPRESAS GALARDONADAS CON EL PREMIO NACIONAL DE CALIDAD MALCOLM BALDRIGE**

Manufactura
3M Dental Products Division (1997)
Solectron Corporation (1997)
ADAC Laboratories (1996)
Armstrong World Industries Building Products Operations (1995)
Corning Incorporated Telecommunications Products Division (1995)
Eastman Chemical Company (1993)
Texas Instruments Incorporated Defense Systems & Electronics Group (1992) (ahora Raytheon Systems Company)
AT&T Network Systems Group Transmission Systems Business Unit (1992) (integrada ahora a Lucent Technologies, Optical Networking Group)
Solectron Corporation (1991)
Zytec Corporation (1991) (now Artesyn Technologies)
IBM Rochester, AS/400 Division (1990)
Cadillac Motor Car Company (1990)
Milliken & Company (1989)
Xerox Corporation Business Products and Systems (1989)
Motorola, (1988)
Westinghouse Electric Corporation Commercial Nuclear Fuel Division (1988)

Servicios
Merrill Lynch Credit Corporation (1997)
Xerox Business Services (1997)
Dana Commercial Credit Corporation (1996)
GTE Directories Corporation (1994)
AT&T Consumer Communications Services (1994) (now part of AT&T Consumer Markets Division)
The Ritz-Carlton Hotel Company (1992)
AT&T Universal Card Services (1992)
Federal Express Corporation (1990)

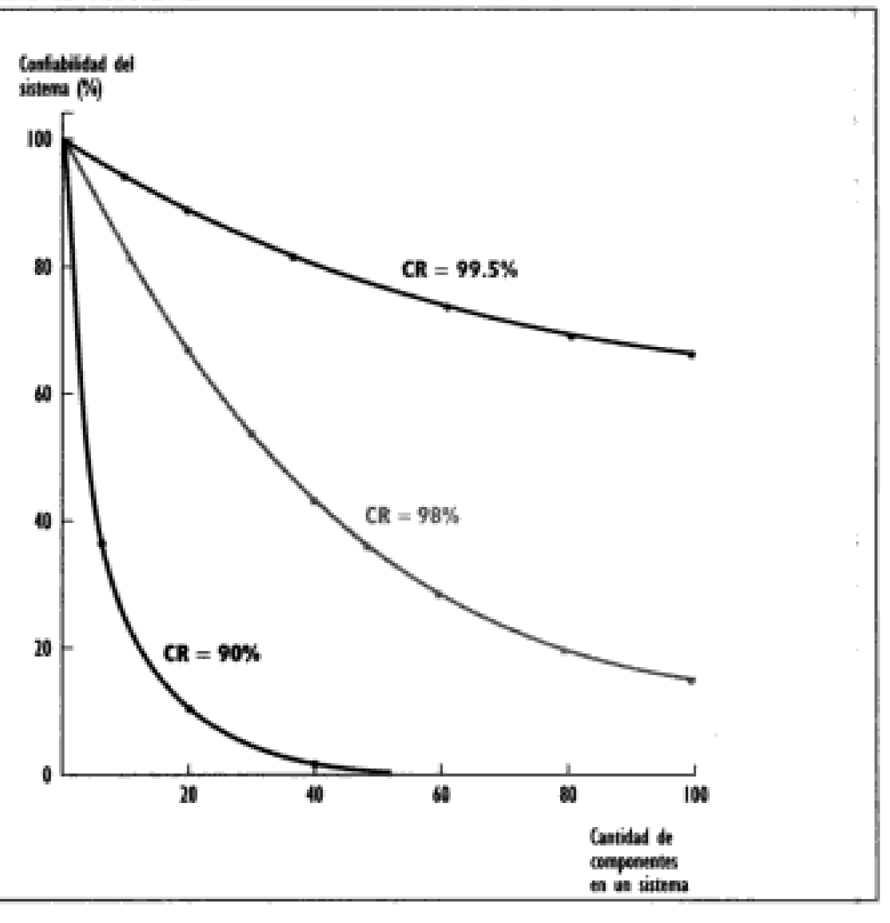
Pequeña empresa
Custom Research (1996)
Trident Precision Manufacturing, (1996)
Wainwright Industries, (1994)
Ames Rubber Corporation (1993)
Granite Rock Company (1992)
Marlow Industries, (1991)
Wallace Company, (1990)
Globe Metallurgical (1988)

Común Europeo. Las empresas estadounidenses que tienen negocios con Europa deben revisar sus operaciones para cumplir con estos estándares.

Estos estándares o normas se agrupan en cinco clases:

- **ISO 9000.** Un panorama general y una introducción a los demás estándares de la serie, incluyendo definiciones de la terminología y conceptos relacionados con la calidad.
- **ISO 9001.** Es la norma general global para el aseguramiento de la calidad en el diseño, desarrollo, manufactura, instalación y servicio de productos.
- **ISO 9002.** Un estándar más detallado de la norma, que se enfoca específicamente en la manufactura e instalación de productos.
- **ISO 9003.** Norma más detallada que cubre la inspección final y las pruebas de los productos terminados.
- **ISO 9004.** Guías para la administración de un sistema de control de calidad. Más detalles sobre la administración de sistemas de la calidad de lo que se exigen en otras normas; la intención es utilizarla en auditorías a sistemas de calidad.

FIGURA 17.3 CONFIABILIDAD DEL SISTEMA COMO UNA FUNCIÓN DE LA CONFIABILIDAD DE LOS COMPONENTES Y DE LA CANTIDAD DE COMPONENTES.



$$FR_n = \frac{\text{Cantidad de fallas}}{\text{Horas-unidad de operación}}$$

$$MTBF = \frac{\text{Horas-unidad de operación}}{\text{Cantidad de fallas}}, \text{ o } \frac{1}{FR_n}$$

Por ejemplo, para un tipo particular de neumático de automóvil, con una vida esperada de 30,000 millas, si solamente 1% falla dentro de las 30,000 millas diríamos que tiene un nivel de confiabilidad de 0.99.

Cuando las partes componentes se combinan en un producto, la confiabilidad combinada de todos los componentes es la base de la ***confiabilidad del producto o del sistema*** (SR, por sus siglas en inglés). Cuando en un producto se combinan componentes vitales independientes —aquellos que pueden causar directamente que falle el producto— la confiabilidad del sistema queda determinada al multiplicar las confiabilidades de todos los componentes vitales que interactúan. Por ejemplo, cuatro neumáticos de automóvil, cada uno con una confiabilidad de 0.99, tendrían una confiabilidad de sistema de:

$$SR = CR_1 \times CR_2 \times CR_3 \times CR_4 = 0.99 \times 0.99 \times 0.99 \times 0.99 = 0.961$$

El concepto de confiabilidad de sistema se demuestra adicionalmente en la figura 17.3. Si los componentes críticos de un sistema tienen una confiabilidad de 90%, la confiabilidad del sistema es cercana a cero cuando existen más de 50 partes de componentes vitales. De manera similar, cuando las partes componentes tienen una confiabilidad de 99.5%, la confiabilidad del sistema cae hasta 60.6% cuando hay 100 componentes críticos.

Resultó claro para los gerentes de TCS que se tenía que hacer algo para incrementar la confiabilidad del sistema del tablero de circuito mejorando la confiabilidad del componente 205. Se sugirieron dos alternativas:

- Rediseñar, desarrollar y probar una configuración sobrediseñada del componente 205, con un costo estimado de 50,000 dólares Se cree que este proyecto resultaría en una confiabilidad del componente, para el componente 205, de sólo 0.960.
- Modificar el tablero de circuito de manera que automáticamente se quede en operación un componente 205 de respaldo en servicio si falla el componente 205 primario. Se supone que este uso de la redundancia en el diseño costará únicamente 10,000 dólares pero TCS se pregunta cuál será la confiabilidad del sistema del tablero de circuito con esta alternativa.

Calcule la confiabilidad del sistema de alternativas y recomiende un curso de acción para TCS.

Solución

1. Calcule la confiabilidad del sistema de la alternativa de sobre diseño (SR_o):

$$\begin{aligned} SR_o &= CR_{155} \times CR_{175} \times CR_{205} \times CR_{315} \\ &= 0.990 \times 0.995 \times 0.960 \times 0.980 \\ &= 0.9267 \end{aligned}$$

2. Calcule la confiabilidad del componente 205 en la alternativa de redundancia. ¿Cuál es la confiabilidad combinada de ambos componentes trabajando juntos?:

$$\begin{aligned} CR_{205} &= \begin{matrix}\text{Probabilidad de}\\ \text{que esté trabajando}\\ \text{el componente}\\ \text{primario}\end{matrix} + \left(\begin{matrix}\text{Probabilidad de}\\ \text{que esté trabajando}\\ \text{el componente de}\\ \text{respaldo}\end{matrix} \times \begin{matrix}\text{Probabilidad de}\\ \text{que se necesite}\\ \text{el componente}\\ \text{de respaldo}\end{matrix}\right) \\ &= 0.890 + [0.890 \times (1 - 0.890)] \\ &= 0.9879 \end{aligned}$$

3. Calcule la confiabilidad del sistema de alternativas de redundancia (SR_r):

$$\begin{aligned} SR_r &= CR_{155} \times CR_{175} \times CR_{205} \times CR_{315} \\ &= 0.990 \times 0.995 \times 0.9879 \times 0.980 \\ &= 0.9537 \end{aligned}$$

4. Dado que la confiabilidad del sistema se incrementa más con la alternativa de redundancia y a un costo inferior, se recomienda la alternativa de redundancia.

Muchos fabricantes estadounidenses han establecido metas para producir productos de una calidad cercana a la perfección. En el logro de estas metas, son particularmente importantes los conceptos de simplificación, sobrediseño y redundancia. Nuestro conocimiento de la confiabilidad del sistema también es útil en otras áreas de la administración de la producción y las operaciones. Estudiaremos más lo relacionado con confiabilidad en el capítulo 20, Administración y confiabilidad del mantenimiento.

Diseño y control de procesos de la producción

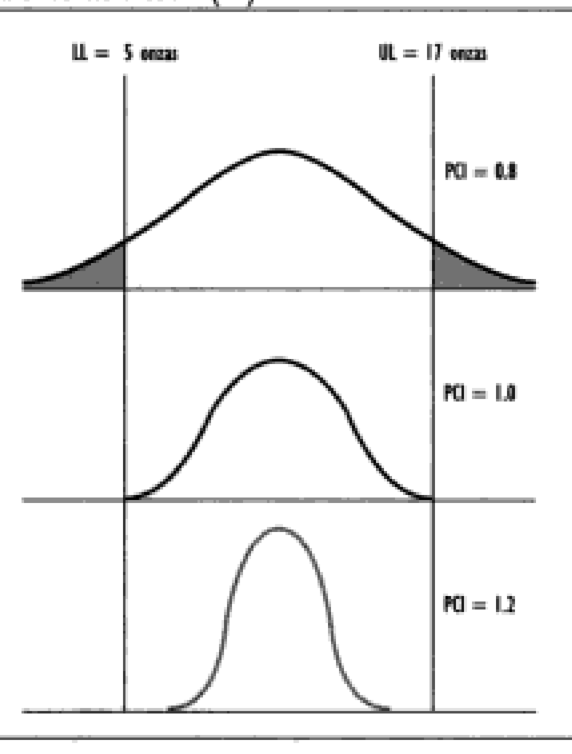
Analizamos el diseño y desarrollo de los procesos de la producción en el capítulo 4. Como lo indica la tabla 17.3, los procesos de producción deben diseñarse teniendo en mente al cliente, porque los procesos de producción deben ser capaces de fabricar productos con las características que desea el cliente. Una vez implementados los procesos de producción, deben utilizarse de manera que los productos cumplan con los requisitos y requerimientos de los clientes. Las organizaciones de la producción deben estar totalmente comprometidas a la producción de productos y servicios de una


FIGURA 17.4 TRES EJEMPLOS DEL ÍNDICE DE CAPACIDAD DE LOS PROCESOS (PCI)

El proceso de producción no tiene capacidad para producir productos dentro de las expectativas de los clientes. Demasiados productos se producirán debajo de LL y arriba de UL.

Este proceso de producción tiene la capacidad de fabricar productos dentro de las expectativas de los clientes.

Este proceso tiene la capacidad de hacer productos dentro de las expectativas de los clientes.



DESARROLLO DE ASOCIACIONES CON PROVEEDORES

En el capítulo 15, Administración de la cadena de suministro, analizamos el procedimiento moderno de selección y desarrollo de proveedores. Para asegurar que los materiales provenientes de los proveedores sean de la calidad más elevada, los proveedores deben incorporarse al programa TQM de la empresa. Ford Motor Company es un buen ejemplo de cómo debería hacerse . En Ford, la selección inicial de los proveedores se basa en lo bien que estos pueden interactuar con su programa TQM. Ford tiene aproximadamente 300 proveedores en su ***lista Q-1,*** *lista de proveedores con los que Ford está de acuerdo en tener contratos de suministro a largo plazo (por lo general tres años) para lograr la calidad más elevada a costos competitivos.* Dado que los proveedores Q1 participan en el diseño de los nuevos productos de Ford, los diseños reflejan la capacidad de los proveedores para producir materiales de alta calidad. Los proveedores participan en los programas de capacitación de calidad de Ford, por lo que sus empleados son capaces de hacer que funcione TQM dentro de sus organizaciones.

SERVICIO, DISTRIBUCIÓN E INSTALACIÓN EN EL CLIENTE

El empaque, embarque e instalación deben quedar incluidos en TQM, ya que los clientes consideran un mal desempeño de los productos igual que la mala calidad, incluso si el producto fue dañado durante el embarque o fue instalado de manera incorrecta. Esto significa que el almacenamiento, la comercialización y la función de distribución deben estar comprometidos con una calidad perfecta y todo contacto entre compañías, sus productos y clientes debe planearse y administrarse para obtener clientes satisfechos.

FORMACIÓN DE EQUIPOS DE EMPLEADOS CON AUTORIDAD

Existen varios aspectos en la formación de equipos con delegación de autoridad: capacitación de los empleados, equipos de trabajo, delegación de autoridad, calidad en el origen y círculos de calidad.

Programas de capacitación de los empleados Al implantar la filosofía TQM, todos los empleados —desde el piso del taller hasta el salón de consejo— así como los proveedores y los clientes,

deben participar en un programa total de capacitación. En Ford Motor Company, por ejemplo, más de 6,000 personas asistieron a 59 cursos en un periodo de dos años y más de 1,000 proveedores enviaron a sus empleados a Ford para programas de capacitación sobre métodos de control de calidad. Estos programas estaban dirigidos no sólo a técnicas de control estadístico de la calidad, sino también a conceptos más amplios de administración de la calidad.

Como se vio en la Instantánea Industrial 16.6 del capítulo 16, muchas empresas están incrementando decididamente sus esfuerzos de capacitar a los empleados. Ningún área del negocio está recibiendo más atención en capacitación que la calidad del producto. Aunque muchas empresas efectúan su propia capacitación, una lista creciente de compañías planean y llevan a cabo programas TQM a cambio de honorarios, entre ellas: Philip Crosby Associates, Juran Institute, Ernst & Young, Qualtec, Gunneson Group, ODI y Walker Customer Satisfaction. También hay material para capacitación y educativo de las siguientes sociedades de control de calidad: American Society for Quality, Association for Quality and Participation, Quality & Productivity Management Association y American Productivity & Quality Center.

Equipo de trabajo y delegación de autoridad En el capítulo 16, Productividad, trabajo en equipo y delegación de autoridad, analizamos la importancia de formar equipos de trabajo y de dar empowerment a los empleados. Para que puedan lograr las compañías estadounidenses una superior calidad del producto, es obligatorio que puedan captar y aplicar toda la habilidad y energía de sus empleados. Los trabajadores —empleados del taller, empleados de oficina, gerentes, ingenieros y científicos— son el recurso central que representa la fuerza motriz para lograr la excelencia en una superior calidad del producto. Los empleados deben dar un paso adelante y aceptar responsabilidad por cada una de las facetas de la producción, pero primero, los gerentes deben dar a los empleados autoridad para actuar, que es a lo que se refiere el empowerment.

Dar autoridad a los trabajadores es la forma que tiene la administración de desencadenar una poderosa fuerza para trabajar continuamente hacia la excelencia en la calidad de los productos y servicios. La Instantánea industrial 17.3 ilustra el poder de los equipos de trabajo con autoridad en Square D Corporation.

Calidad en el origen La idea de la calidad en el origen tiene como objetivo poner al trabajador de producción tras el volante en el control de calidad del producto. Orientada hacia la meta para que cada trabajador produzca partes que sean de calidad perfecta, la calidad en el origen persigue los siguientes principios:

- El puesto de cada uno de los trabajadores se convierte en una estación de control de la calidad. Los trabajadores son responsables de inspeccionar su propio trabajo, identificar cualquier defecto y efectuar los retrabajos para convertirlo en no defectuoso, así como para corregir cualquier causa de defecto.
- Se utilizan técnicas del control estadístico de la calidad para monitorear la calidad de las partes producidas en cada estación de trabajo y se utilizan gráficas y diagramas fáciles de comprender para comunicar su avance a trabajadores y gerentes.
- A cada trabajador se le da el derecho de detener la línea de producción, para evitar producir partes defectuosas.
- Los trabajadores y los gerentes están organizados en **círculos de calidad (QC)**, es decir, *pequeños grupos de empleados que analizan problemas de calidad, trabajan para resolverlos y ponen en práctica programas para mejorar la calidad del producto*.

Este conjunto de disposiciones consigue cuatro cosas: primero, asigna la responsabilidad de la calidad del producto a los trabajadores y a la función de producción, que es donde corresponde. Segundo, puede conducir a trabajadores de producción más comprometidos con una elevada calidad del producto. Tercero, más que revisar el trabajo de otros, el personal de control de calidad puede efectuar trabajo que impacte la producción de productos de elevada calidad: trabajando con el personal de producción para eliminar las causas de los defectos, capacitando a los trabajadores en el control de calidad y trabajando con los proveedores para mejorar la calidad de su producto. Cuarto, elimina un obstáculo hacia la cooperación entre el personal de control de calidad y los trabajadores de producción, de manera que puedan trabajar juntos para una más alta calidad del producto.

INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 17.3

EQUIPOS DE TRABAJO CON AUTORIDAD EN SQUARE D CORPORATION

En la planta de Lexington, Kentucky, de Square D Corporation, aproximadamente 800 trabajadores han sido reorganizados en equipos de trabajo de 20 a 30 personas para ensamblar tableros de control eléctrico, interruptores y transformadores. Antes de la creación de los equipos de trabajo, los empleados pasaban todo el día trabajando sobre un solo componente, una y otra vez, sin ver jamás el producto final. Ahora, la planta tiene una nueva disposición física y cada equipo opera en una **fábrica dentro de una fábrica.** Cada equipo ejecuta todo el trabajo correspondiente a un producto completo, desde el principio hasta el fin, como si estuviera operando su propio negocio. La compañía solía desembolsar más en pintura de edificios que en capacitación, pero ahora gasta aproximadamente 4% de los costos de nómina en capacitación. Los gerentes también han dado autoridad a los trabajadores para tomar decisiones en el piso del taller respecto a todas las fases de la producción. Se capacitó a empleados para operar como un equipo y esto se puede ver. Trabajan juntos para arreglar máquinas cuando éstas se descomponen, y para tomar decisiones sobre la forma de resolver problemas de producción, cuando éstos ocurren. También se les capacitó para mejorar la calidad del producto, y funciona. Al principio de cada turno, los empleados
se reúnen para examinar su desempeño por lo que se refiere a calidad. Cada 30 minutos cada empleado diagrama su exactitud. La cantidad de defectos se redujo 75% y el tiempo que toma producir los pedidos de los clientes ha disminuido de seis semanas a tres días.

Fuentes: Jennings, Peter y Linda Patillo. "ABC Evening News", 24 de febrero, 1993.

Círculos de calidad Un círculo de calidad, es decir, un círculo QC es un pequeño grupo de empleados —la cantidad promedio es de nueve— que se ofrecen voluntariamente a reunirse periódicamente para atacar proyectos diseñados para mejorar la empresa relacionados con el trabajo, mejorar las condiciones de trabajo y alentar un autodesarrollo mutuo, todo ello utilizando conceptos de control de calidad.[12] Los círculos QC son fomentados y promovidos por las empresas japonesas y reciben una capacitación sustancial en principios de control de calidad y en sus técnicas. A menudo, estos grupos se reúnen fuera de horas de trabajo y combinan sus reuniones con actividades sociales o deportivas. Tienden a seleccionar sus propios proyectos de investigación y generalmente pueden contar con el apoyo de la administración en la puesta en práctica de sus recomendaciones. Los tipos de proyectos son variados y pueden extenderse más allá de la calidad, a áreas tales como productividad, diseño de herramientas, seguridad, mantenimiento y protección ambiental. La membresía en los círculos QC es voluntaria y no hay ningún incentivo en efectivo directo. Los miembros dan como razón principal para pertenecer a los grupos la satisfacción personal por logros y por el reconocimiento que se les da en reuniones regionales y nacionales. Su uso se está ampliando en Estados Unidos, Reino Unido, Brasil, Indonesia, y Corea del Sur, entre otros. La figura 17.5 muestra la forma en que operan estos círculos.

A pesar de las diferencias culturales entre Japón y Estados Unidos, los círculos QC se han organizado en empresas como Motorola, Minnesota Mining and Manufacturing (3M), Nations Bank y Schlumberger. Para que estos programas tengan éxito, debe haber una confianza y lealtad sinceras entre trabajadores y gerencia. Las empresas estadounidenses, en número creciente, están reconociendo la importancia de atraer a sus trabajadores hacia la corriente principal de sus programas de administración de calidad. Este esfuerzo seguramente contribuirá a una elevación general de la administración de la calidad en la conciencia de los trabajadores, resultando en soluciones únicas e innovadoras a los problemas de calidad y mejorando la probabilidad de que los trabajadores cooperen en la implantación de programas para mejorar la calidad del producto.

BENCHMARKING Y MEJORA CONTINUA

Empresas como AT&T, Digital Equipment, Ford, IBM, Motorola, Milliken & Company, Texas Instruments y Xerox Corporation utilizan el **benchmarking**, *la práctica de establecer estándares*

Hamburguer University de McDonald's es un ejemplo de un programa de instrucción y capacitación intensivo y continuo.



y geográficamente dispersos, puede resultar difícil una supervisión directa de los empleados. Reconociendo esta dificultad, muchas de las organizaciones de servicio tienen un programa intensivo de instrucción y capacitación continuas haciendo de éste la piedra angular de la administración de calidad. La Hamburguer University de McDonald's y La University de Holiday Inn's son un ejemplo de este tipo de desarrollo.

Las dificultades en el establecimiento de programas de administración de la calidad para los servicios no son obstáculos insuperables. Las organizaciones de servicio pueden desarrollar programas completos de control de calidad y algunas de sus características son muy parecidas a las de la manufactura. Otros aspectos de sus programas, sin embargo, son dramáticamente distintos. La Instantánea industrial 17.5 analiza un procedimiento que se utiliza para mejorar la calidad de los servicios.

La Instantánea industrial 17.6 da varios ejemplos de TQM en los servicios. Estos ejemplos sugieren la presencia de programas de control de calidad que causan un impacto extenso y de largo alcance en la administración de las empresas. Para la mayoría de los servicios, el arma competitiva de elección es la calidad percibida del servicio, dado que el precio, la flexibilidad y la velocidad de entrega pudieran no ser muy distintas a las de la competencia. La calidad del servicio entonces se convierte en el enfoque primario en la estrategia de las operaciones.

La Instantánea industrial 17.6 describe un elemento importante de muchos programas de calidad en los servicios, el uso de las **encuestas de clientes**. Esa técnica permite que los clientes llenen cuestionarios o participen en entrevistas dirigidas a determinar la percepción de los clientes respecto a varios temas relacionados con la calidad. Otra forma de medir la calidad de los servicios es utilizando **compradores fantasma**, empleados que fingen ser clientes, pero que realmente están vigilando la calidad de los servicios. Por ejemplo, en American Express aproximadamente 250 personas de control de calidad vigilan la calidad de los servicios en todo el mundo, y un elemento importante de este programa es el uso de compradores fantasma. También, como en otras organizaciones de servicio, American Express utiliza **gráficas de control estadístico** para vigilar aspectos como el tiempo necesario para procesar la solicitud de un cliente para una tarjeta de American Express. De manera similar, los diagramas de control estadístico, utilizando datos reunidos en encuestas de clientes, se emplean para controlar varias medidas de la satisfacción del cliente. La diversidad de estas medidas enfatiza la flexibilidad de los diagramas de control para controlar la calidad de los servicios, así como el costo y otras dimensiones del desempeño de la organización. En el capítulo 18, Control de calidad, estudiaremos más sobre el control estadístico de la calidad y diagramas de control.

INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 17.5

ENTREGA DE SERVICIO DE CALIDAD

¿Qué hace que un servicio sea de calidad? Zeithaml, Parasuraman y Berry han identificado estas dimensiones de la calidad en los servicios:

- **Tangibles.** Apariencia de las instalaciones físicas, del equipo, del personal y de las piezas de comunicación.
- **Confiabilidad.** Capacidad de percibir el servicio prometido de manera segura y precisa.
- **Nivel de respuesta.** Prontitud en ayudar a los clientes y de proporcionar un rápido servicio.
- **Seguridad.** Conocimientos y cortesía de los empleados y su capacidad de inspirar confianza y apoyo.
- **Empatía.** Atención preocupada e individualizada que la empresa proporciona a sus clientes.

Todos los clientes califican la confiabilidad como el factor de mayor importancia y tangible como el de menor importancia. El mensaje es claro: véase bien, sea sensible, sea tranquilizante, sea empático, pero más que nada, sea confiable: cumpla lo que dice que va hacer.

Zeithaml, Parasuraman y Berry han identificado algunas barreras importantes a la calidad de servicio.

1. **Brecha perceptiva entre las expectativas del cliente y de la gerencia.** Hay una brecha entre lo que los gerentes creen que esperan los clientes y lo que los clientes realmente esperan de la empresa de servicio.
2. **Brecha de especificación de la calidad del servicio y de la percepción de la gerencia.** Los gerentes establecen especificaciones de calidad de servicio o estándares menores en comparación con las expectativas del cliente.
3. **Brecha de entrega de servicio y especificaciones de la calidad del servicio.** La calidad de servicio entregado se queda corta respecto a las especificaciones de servicio establecidas por los gerentes.
4. **Brecha de comunicación externa y de entrega del servicio.** Las expectativas de los clientes se han aumentado debido a publicidad, presentaciones de ventas y otras comunicaciones, hasta niveles más allá de la capacidad de la empresa.
5. **Brecha de percepción del cliente y de la expectativa del cliente.** Hay una brecha entre lo que espera el cliente y lo que éste percibe que recibe. Esta es la brecha más importante.

Zeithaml, Parasuraman y Berry han desarrollado un procedimiento para una mejora continua de la calidad de servicio, que empieza con una evaluación externa de las carencias de calidad percibidas por el cliente (Brecha 5) seguida por una evaluación interna de las causas de las carencias de la organización (Brechas 1 – 4).

Fuente: Zeithaml, Valarie A., A. Parasuraman y Leonard L. Berry. *Delivering Quality Service: Balancing Customer Perceptions and Expectations*. Nueva York: Free Press, 1990.

RECOPILACIÓN

LO QUE HACEN LOS PRODUCTORES DE CLASE MUNDIAL

La calidad en los productos y en los servicios empieza cuando se formula la estrategia empresarial. Para cada uno se desarrolla un plan dirigido para distinguirlos de sus competidores. Para muchos productos y servicios, la calidad es el arma de elección para la captura de los mercados mundiales. Para los productores de clase mundial, la calidad prominente de productos y servicios es la principal distinción competitiva que se busca.

Los productores de clase mundial no diferencian entre mejora de la productividad y mejora de la calidad: para ellos es lo mismo. La calidad mueve la máquina de la productividad para estos productores. Quizás más importante, los productores de clase mundial han dejado de depender de la inspección para detectar defectos; más bien están concentrando todos los esfuerzos organizacionales en hacer todo bien desde la primera vez. Están luchando para encontrar y resolver sus problemas de calidad sin tener programas de inspección dirigidos a detectar defectos mientras se siguen usando métodos de producción inadecuados. Los productores de clase mundial emplean la manufactura justo a tiempo, la estandarización de los productos, los equipos automatizados y el mantenimiento preventivo, no sólo para reducir costos, sino por su impacto en la calidad y en el servicio al cliente.

Las empresas de clase mundial están comprometiendo enormes recursos en implantar programas de administración de la calidad total (TQM) dirigidos a su mejora continua. En Motorola hablamos de Seis Sigma, en Xerox de Liderazgo a través de la calidad, en Intel de (PDQ),[2] en Hewlett-Packard es Control total de la calidad. ¿Qué empresas

(continúa en la pág. 654)

Capacidad de los procesos

5. Si PCI = 0.8:
   a. ¿Tienen los procesos de producción la capacidad de cumplir con las expectativas del cliente? ¿Por qué?
   b. ¿Qué debe modificarse de manera que sus procesos de producción tengan la capacidad de ofrecer productos que satisfagan las expectativas del cliente?
6. UL = 1.005 de pulgada, LL = 0.995 de pulgada, $\sigma = 0.0015$ de pulgada: ¿tienen los procesos de producción la capacidad de cumplir con las expectativas del cliente? ¿Por qué?
7. Una empresa va a presentar un nuevo teléfono. Se han hecho encuestas de clientes y esperan que el receptor del nuevo teléfono pese entre 5.5 y 6 onzas. La empresa está ahora examinando diseños de procesos alternos y se pregunta cuánta variación no controlable del producto podrá permitirse y aún así cumplir con las expectativas del cliente. ¿Qué valor de σ se requiere para obtener un PCI $\geq$ 1.00?
8. Una empresa acaba de hacer una encuesta con sus clientes y ha encontrado que esperan que su producto pese entre 15 y 17 onzas. La empresa supone que las variaciones a largo plazo de sus productos provenientes de sus procesos de producción actuales es $\sigma = 0.4$.
   a. Calcule la capacidad del proceso de los procesos de producción.
   b. ¿Tienen los procesos de producción la capacidad de llenar las expectativas del cliente? ¿Por qué?
   c. ¿Qué es lo que debe modificarse de tal manera que su proceso de producción tenga la capacidad de cumplir con las expectativas del cliente?
   d. ¿Qué nuevo nivel de σ haría que PCI $\geq$ 1.00?

Casos

Administración de la calidad en Spectrum Control Inc.

Spectrum Control, con oficinas centrales en Erie, Pennsylvania, fue fundada en 1968 por Thomas L. Venable, Glenn L. Warnshuis y John R. Lane, tres ingenieros que se habían conocido en Erie Technological Products. En 16 años, la compañía creció de un inicio de 300,000 dólares, localizada en una vieja ferretería, a una sólida empresa pública de 22 millones de dólares. Hoy día, Spectrum tiene cuatro plantas manufactureras y aproximadamente 1500 clientes, incluyendo a IBM y Hewlett-Parckard. Durante los últimos tres años ha declarado utilidades, después de impuestos, de aproximadamente 10 por ciento sobre las ventas.

La calidad no era problema en los primeros días. Venable y Warnshuis diseñaban y construían filtros complejos de Spectrum, en tanto que Lane los vendía. "No tenía ningún sentido fabricarlos mal", recuerda Venable con una risita. Pero, conforme la empresa empezó a prosperar y a crecer, este tipo de responsabilidad directa cayó en desuso.

Igual que en la mayoría de los fabricantes —e igual que la mayoría de los negocios— Spectrum empezó a operar utilizando la filosofía de niveles aceptables de calidad, es decir AQL. La empresa verificaba periódicamente una muestra del producto y entonces embarcaba todo el lote, siempre y cuando la cantidad de unidades defectuosas estuviera dentro de los límites aceptables. Si habían demasiado defectuosos, todo el lote se rechazaba o se sujetaba a una inspección de 100%, un proceso costoso.

Entonces, lentamente, el mercado de Spectrum empezó a cambiar. Una empresa japonesa, Murata Manufacturing, adquirió Erie Technological Products (ahora Murata Erie North America) con la que Spectrum competía y se apareció el espectro de la calidad al estilo japonés. Varios de los clientes de Spectrum empezaron a hacer ruido también en relación con la calidad. "Hace aproximadamente dos o tres años", —Venable cuenta— "Hewlett-Packard dijo que iban a pasar al concepto de la idea de cero defectos: ningún defecto en ningún material de entrada". Pronto IBM se unió al coro implicando, según recuerda Venable, que aquellos negocios que esperaran quedarse como proveedores de IBM más les valía empezar a pensar seriamente respecto a la calidad.

Venable y otros gerentes de Spectrum empezaron a ensayar posibles estrategias para atacar el recién descubierto problema. Estudiaron algunas técnicas de calidad japonesas… Compraron 40 copias de *Quality Is Free* del asesor empresarial Philip Crosby, un libro que había estado recomendando IBM, y las repartieron. También compraron y estudiaron algunas videocintas de W. Edwards Deming, el decano emérito del control estadístico de la calidad.

Esencialmente, Crosby sugiere que se establezcan requisitos precisos para cada una de las tareas del negocio y que estos estándares se cumplen en todas y cada una de las instancias. Si ocurren problemas, ya sea en el desempeño o en el producto, deben encontrarse soluciones permanentes tan pronto como sea posible: las soluciones temporales no son aceptables.

El procedimiento evangelizador de Crosby dio resultado, por lo menos en lo que se refiere a algo: destruyó las imágenes de los AQL. "creo que el beneficio de mayor importancia" —opina Venable— "fue que nos convenció que dada una estructura, podía ser posible trabajar hacia cero defectos, hacia un desempeño totalmente libre de errores".

El plan de Venable fue utilizar las teorías y rutinas de Crosby para poner cosas en movimiento y después apoyarse en las técnicas de Deming para controlar el proceso: modificando ambas siempre que pareciera necesario, con procedimientos del diseño propio de Spectrum.

Algunas de las modificaciones resultaron fáciles, como por ejemplo poner más atención en los problemas de los clientes. En el pasado, a menudo la empresa había embarcado sus componentes demasiado temprano y los clientes simplemente lo volvían a embarcar de vuelta. El costo de ese tipo de errores, dice Venable, era significativo, particularmente en el caso de entregas al extranjero "$150 a $200 por transembarque, transbordo, y $300 de documentación". En el otro extremo de la tubería, Spectrum instaló nuevos sistemas de verificación de captura de pedidos "por lo que hemos sido testigos de una mejoría tremenda en nuestra tasa de errores en ese área".

Sin embargo, la mayoría de las mejoras llegaron despacio. "¿Fácil?", expresa un trabajador de la Electromagnetic Division. "Era lo mismo que dejar de fumar y beber, además de hacer dieta, todo ello al mismo tiempo". Un cambio de hábitos y actitudes de los trabajadores de Spectrum era ya muy difícil. Pero un procedimiento completo hacia la calidad involucró a los proveedores, así como a los clientes de la empresa.

Existía, por ejemplo, el asunto de los bujes —pequeños elementos enroscados que se utilizan para conectar filtros sellados con vidrio a otros dispositivos. Éstos los manufacturaban tres proveedores con tornos para hacer cuerda, los inspeccionaba Spectrum; después se enviaban a un proveedor de galvanizado y, una vez galvanizados, vueltos a inspeccionar. En ese momento tan avanzado del proceso, aproximadamente el 50 por ciento se rechazaba.

"Después de tomar clases de QES" dijo David Weunski gerente de Electromagnetic Division, se suponía que yo debería regresar a mi unidad y reflexionar sobre lo que me había dado problemas a lo largo de los años… Éste, naturalmente, me saltó encima."

Sin embargo, la solución no fue tan sencilla. Sólo después de horas interminables de lluvias de ideas y conferencias con proveedores pudo Weunski encontrar una estrategia. Durante la inspección inicial, se dio cuenta que Spectrum empleaba calibres que indicaban únicamente si los bujes excedían las dimensiones correctas del producto terminado y que no era sino hasta después de haber agregado otra capa de metal en el electrodepósito, que aparecían otros problemas, por lo que Weunski ordenó un juego de nuevos calibres, por valor de 7,000 dólares para medir el buje en crudo, y otro para medir el galvanizado o cromado, y regaló un juego duplicado de calibres a sus proveedores. "Antes" —asegura—, "probablemente hubiéramos puesto el peso de la adquisición de los calibres en ellos; ahora, la actitud es mucho más cooperadora". Los resultados iniciales, agrega, fueron excelentes: "Cuando todos los calibres estuvieron en su sitio, podíamos estar hablando de *duplicar* su productividad".

Además estaba la cuestión del Department Number Nine de Electromagnetic División que produce, entre otros bienes, pantallas protectoras. Estas pantallas: paneles artísticamente trabajados de vidrio oscuro y curvo que se colocan frente al monitor de una computadora, absorben seis o siete watts de energía radiada producida por algunas terminales y, por lo tanto, impiden que las personas puedan leer la información de la pantalla a cierta distancia. Sin embargo, son increíblemente difíciles de manufacturar. Compuestas de capas de vidrio, malla de alambre y materiales laminados, tienden a delaminarse cuando se exponen a extremos de temperatura "En el peor de los casos, los rechazos estaban llegando a un máximo de 15%", confiesa Cy Ley, gerente de la unidad.

para esta válvula de por lo menos 0.990. Valvco está estudiando sus datos de prueba para determinar si existe alguna manera práctica de que el producto pueda ser fabricado para cumplir con las necesidades de NASA. La válvula tiene cuatro partes componentes que interactuán, con los siguientes datos de prueba:

Parte componente	Cantidad de partes probadas	Cantidad de horas de prueba	Cantidad de fallas
Z24	200	5,000	1
T19	190	3,000	0
A5	1,290	2,000	2
S113	323	1,000	3

Tarea

1. ¿Cuál es la confiabilidad actual del sistema de la válvula? ¿Cumple la válvula los requisitos de confiabilidad de sistema de NASA?
2. NASA ha sugerido la redundancia en el diseño para la válvula. Determine la confiabilidad de la válvula con cada uno de los componentes como candidato para la redundancia. ¿Es posible a partir de la sugerencia de NASA, cumplir con los requisitos de confiabilidad de sistema?
3. Uno de los ingenieros de Valvco ha sugerido a NASA que compre la válvula de Valvco como está actualmente, y que utilice dos de las válvulas en paralelo, una como válvula primaria y la otra como respaldo. Evalúe esta propuesta como una manera de llenar los requisitos de confiabilidad de sistema de NASA.
4. ¿Qué alternativa recomendaría usted para cumplir los requisitos de confiabilidad de NASA? ¿Por qué?
5. Analice el concepto de redundancia de componentes como un medio práctico para incrementar la confiabilidad del sistema. ¿Cuáles son las ventajas y desventajas del procedimiento?

CAPÍTULO 18

CONTROL DE CALIDAD

Introducción

Conceptos estadísticos en el control de calidad
Muestreo
Teorema de límite central y control de calidad

Diagramas de control
Diagramas de control para atributos
Diagramas de control para variables

Planes de aceptación
Muestras simples, dobles o secuenciales
Planes de aceptación de muestreo simple para atributos
Curvas características de operación
Curvas de calidad promedio de salida
Estimación de criterios de aceptación
Uso de las tablas Dodge-Romig
Uso de estadística
Planes de aceptación de una muestra para variables

Computadoras en el control de calidad

Control de calidad en los servicios

Recopilación: lo que hacen los productores de clase mundial

Preguntas de repaso y análisis

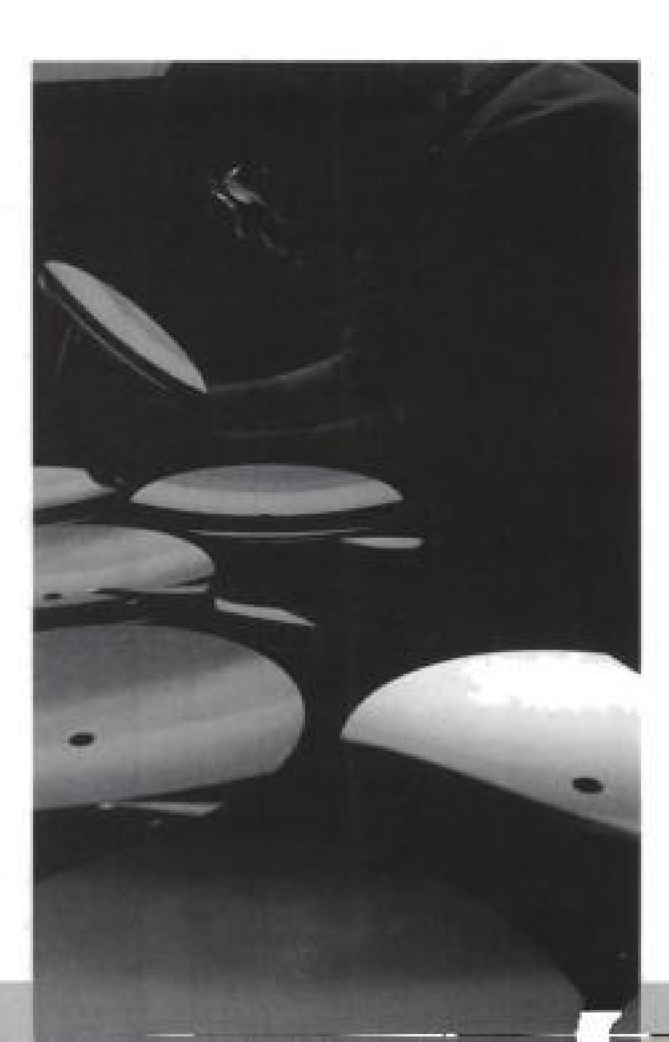
Tareas en Internet

Problemas

Casos
Gas Generator Corporation
Integrated Products Corporation

Notas finales

Bibliografía seleccionada



Control de calidad en Texas Telecom

Texas Telecom produce varias cajas convertidoras de televisión para las industrias de TV por cable y por satélite. Establecida a fines de los 80, Texas Telecom inicialmente se dedicó a productos de bajo costo, pero en años recientes, la empresa ha cambiado el enfoque de sus operaciones para proporcionar productos confiables y de alto rendimiento. En el esfuerzo de cambiar su enfoque a productos de elevada calidad, Texas Telecom, implementó un programa de administración de la calidad total (TQM) y ha quedado complacida con los resultados. Un aspecto de la administración de la calidad total particularmente útil para mejorar la calidad del producto y obtener nuevos negocios es el empleo de los diagramas de control.

Antes de que se utilizaran los diagramas de control, muchos de los productos de la empresa no cumplían de manera uniforme con las especificaciones del cliente. Aunque los productos estaban diseñados para ser superiores, había demasiada variación en su desempeño: para resolver este problema, Mary Boone, gerente de producción, introdujo el diagramado de control en todo el proceso de producción. Los elementos clave de esta iniciativa son el diagramado que realizan trabajadores mismos, las reuniones de grupos pequeños para analizar el control de calidad y el reconocimiento de la gerencia de a los rendimientos de elevada calidad. Los equipos de trabajo se reúnen al inicio de cada turno para revisar los diagramas de control de las ocho horas más recientes, para detectar cualquier tendencia indeseable y discutir cualquier corrección necesaria en los procesos de producción. Durante su turno, cada trabajador traza la medida de la calidad de los productos en su operación en lapsos de 30 minutos, e informa inmediatamente al líder del equipo de cualquier tendencia que crea está saliendo de control. Si es lo suficientemente seria, la producción se detiene para corregir el problema.

La capacitación de los empleados fue parte vital del programa de diagramas de control de Texas Telecom. Antes de emplearlos, cada trabajador pasó por dos semanas de capacitación sobre fundamentos de administración de la calidad y diagramas de control. Con la ayuda de los diagramas de control, el desempeño y rendimiento del producto se mantiene ahora a niveles extremadamente altos. Las tasas de defectuosos (productos fuera de especificación) están en 0.01%, es decir, aproximadamente un defecto en 10,000 unidades, lo que es aproximadamente una décima parte del promedio de la rama industrial.

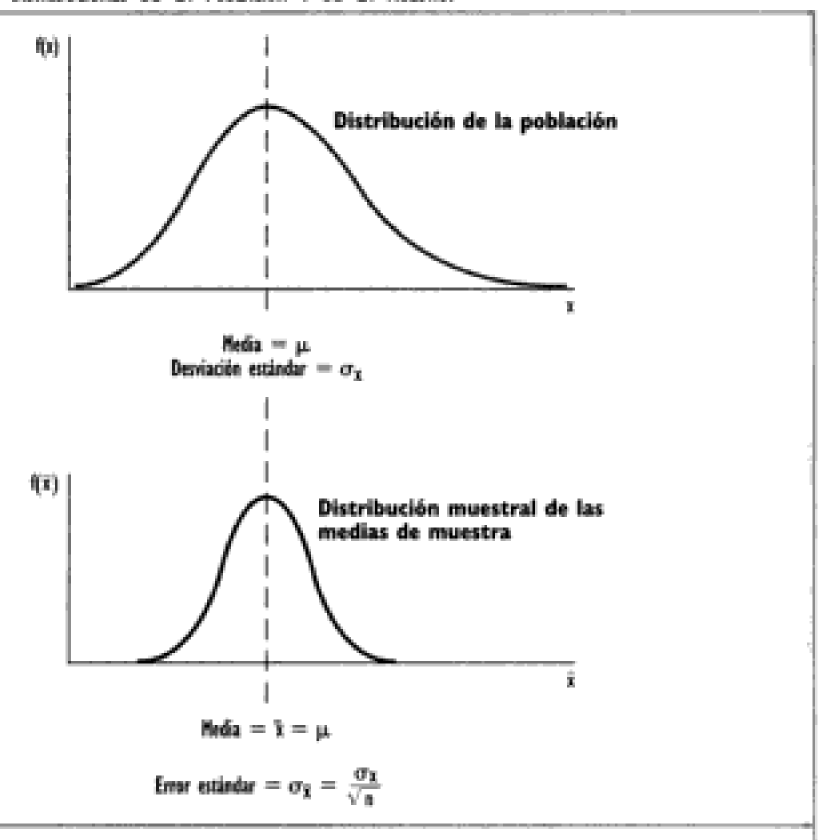
El relato anterior describe un programa para mejorar el cumplimiento de la calidad del producto respecto a las especificaciones del cliente. Esto es lo que principalmente preocupa en este capítulo, el desarrollo de programas de diagramas de control para vigilar el desempeño de los procesos de producción a fin de producir bienes que cumplan con las expectativas del cliente. También, cuando sean apropiadas, analizaremos planes de aceptación para situaciones especiales.

Como se analizó en el capítulo 17, Administración de la calidad, los clientes quiénes determinan la calidad de productos y servicios. Sus expectativas son la base para determinar si los productos y servicios son de calidad superior. La tabla 18.1 enlista algunos productos y servicios y las expectativas de sus clientes. Son éstas las que deben traducirse en estándares para controlar la calidad.

Pero el control de la calidad se inicia mucho antes que se entreguen productos y servicios a los clientes. Como se puede ver en la figura 18.1, al inicio el sistema de producción, las materias primas, partes y suministros deben ser de elevada calidad, antes de que se utilicen. Los materiales se examinan para asegurar que cumplen con las especificaciones apropiadas: resistencia, tamaño, color, acabado, apariencia, contenido químico, peso y otras características. Conforme los materiales avanzan a través de la producción, se va analizando la calidad de los productos parcialmente terminados, para determinar si los procesos están funcionando como se pretende. Este monitoreo está dirigido a mejorar la calidad del producto y a identificar tendencias indeseables que apunten a la necesidad de acciones correctivas. Entonces se estudian los productos y servicios terminados, para determinar si llenan las expectativas del cliente. El control de calidad incluye actividades en los proveedores, a través de la producción y hacia los clientes.



FIGURA 18.2 COMPARACIÓN DE LAS DISTRIBUCIONES DE LA POBLACIÓN Y DE LA MUESTRA



TEOREMA DE LÍMITE CENTRAL Y CONTROL DE CALIDAD

El **teorema de límite central** pudiera ser el principio estadístico más importante en la administración de la producción y de las operaciones. En palabras sencillas, el teorema dice: *las distribuciones muestrales se pueden suponer normalmente distribuidas, aun cuando las distribuciones de la población no sean normales.* La única excepción ocurre cuando el tamaño de las muestras es extremadamente pequeño. Los estudios por computadora demuestran que, en algunos casos, incluso cuando el tamaño de las muestras es tan pequeño como cinco, sus **distribuciones muestrales** son muy cercanas a las distribuciones normales.[1]

La figura 18.2 compara la distribución de una población con la distribución muestral de sus medias de muestras. Esta distribución muestral incluye todas las medidas posibles de medias de muestra ($\bar{x}$). Podemos hacer las siguientes generalizaciones respecto a esta distribución:

1. Se puede suponer que la distribución muestral está normalmente distribuida, a menos que el tamaño de la muestra (n) sea extremadamente pequeño.
2. La media de la distribución muestral ($\bar{\bar{x}}$) es igual a la media de la población (μ).
3. El error estándar de la distribución muestral ($\sigma_{\bar{x}}$) es menor a la desviación estándar de la población (σ_x) en un factor de $1/\sqrt{n}$.

La fuerza del teorema de límite central en el control de calidad se basa en su capacidad de permitir el uso de la distribución normal para establecer fácilmente límites a los diagramas de control y a los planes de aceptación, tanto para atributos como para variables.

INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 18.1

CONTROL ESTADÍSTICO DE LOS PROCESOS EN GEORGIA-PACIFIC

Georgia Pacific (GP) es una gran empresa maderera de Atlanta, Georgia. Una de las muchas instalaciones de manufactura de GP, localizada en Eugene, Oregon, produce resinas para fabricantes de madera en chapa, maderas prensadas, OSB y otros productos de madera que requieren adhesivos. Como parte de un programa de administración de la calidad para toda la empresa, en la planta de resinas de Eugene se adoptó el control estadístico de procesos.

Entre las herramientas de este control están los histogramas, los índices de capacidad, los diagramas de control y los diagramas de corridas. Algunas de las medidas de desempeño de los procesos, es decir de las medidas de calidad, que se monitorean utilizando las herramientas de control estadístico de la calidad son la viscosidad, la temperatura, el nivel de pH, el tiempo de calentamiento, el índice de refracción, el porcentaje de cáusticos, el tiempo de bombeo y el tiempo de carga.

Para automatizar algunas de las herramientas de control estadístico de los procesos y permitir el monitoreo en tiempo real de algunas medidas de la calidad, se instaló software de control estadístico de los procesos, que incluye alarmas y advertencias cuando fluctúan los niveles de calidad de los procesos. Rutinariamente se hacen y entregan a los clientes impresiones de los diagramas de control y de corridas para ciertas medidas de la calidad para mostrar a los clientes que GP se preocupa en serio por la calidad y que para ello está utilizando las herramientas más modernas de control estadístico especializado.

DIAGRAMAS DE CONTROL

Para la mejora continua de la calidad del producto, se necesita estudiar de cerca la calidad de los productos que salen de cada una de las operaciones de producción. Y los diagramas de control ayudan a conseguirlo. Para cada operación de producción, en un diagrama de control se registran periódicamente datos de muestras y se compara con los estándares. Si los datos de muestra están cerca de los estándares, la operación está bajo control y no se requiere ninguna acción. Sin embargo, si los datos se alejan de los estándares o si se presentan tendencias inesperadas, entonces la operación deberá ser analizada. *El propósito primordial de los* ***diagramas de control*** *es indicar cuándo los procesos de producción se han modificado lo suficiente como para afectar la calidad del producto. Entonces, se realizaría una investigación en busca de las causas de la modificación. Si la indicación es que se ha deteriorado la calidad del producto o que es probable que se deteriore en el futuro, entonces el problema se corregiría mediante acciones como el reemplazo de herramientas desgastadas, efectuando ajustes a las máquinas o capacitando e instruyendo a los trabajadores. Si la indicación es que la calidad del producto es mejor que la esperada, entonces es importante averiguar la razón, de manera que esta calidad elevada se mantenga.* La investigación del problema de calidad puede revelar que no existe necesidad de ninguna acción correctiva, que la variación de los datos fue solamente una anomalía. Lo bello de los diagramas de control es que gerentes y trabajadores pueden determinar rápidamente si se están llenando los estándares de calidad y si hay tendencias anormales que deben investigarse. Dada la flexibilidad de aplicación de estas herramientas, los diagramas de control se utilizan en todo tipo de negocios y de organizaciones gubernamentales.

El uso de diagramas de control a menudo se conoce como **control estadístico de los procesos (SPC,** por sus siglas en inglés). La Instantánea industrial 18.1 analiza el control estadístico de los procesos en Georgia Pacific.

DIAGRAMAS DE CONTROL PARA ATRIBUTOS

La elaboración de diagramas de control involucra tres determinaciones: 1) línea central, 2) límite de control superior, 3) límite de control inferior. Una vez establecidos estos tres valores, se convierten en el estándar o marca de referencia para comparar las muestras futuras. La figura 18.3 es un diagrama *p*, utilizado para trazar el porcentaje de defectuosos en las muestras diarias de marzo. El límite de control superior es de ligeramente más de 10%, la línea central de 5% y el límite inferior de control es 0%. Conforme se van registrando los porcentajes de defectuosos de las muestras diarias en este diagrama de control, podemos ver que todos los puntos quedan entre los límites

torear el porcentaje de defectuosos en capacitores producidos por operadores de una máquina. La línea central de un diagrama de control idealmente se determina al observar la capacidad del proceso. Pero, en algunos casos, particularmente en procesos nuevos, las líneas centrales pudieran determinarse a partir del conocimiento experto de un supervisor, como la meta que deseamos alcanzar, cantidad promedio después de cierto periodo de prueba o datos proporcionados por el proveedor de una máquina clave respecto a su capacidad.

EJEMPLO 18.1

ELABORACIÓN DE DIAGRAMAS DE CONTROL PARA ATRIBUTOS

Pedro Reyes opera una máquina que fabrica capacitores. La empresa de Pedro está implantando un programa de autodiagramado y desea empezar a llevar el control de los porcentajes de defectuosos en su operación. Él sabe que con este tipo de proceso, se espera aproximadamente un 4% de defectuosos, con más o menos alguna variación al azar. Pedro desea elaborar inicialmente un programa p con límites de control de tres desviaciones estándar y ha preparado 10 muestras diarias de 100 capacitores cada una.

Número de la muestra	Porcentaje de defectuosos	Número de la muestra	Porcentaje de defectuosos	Número de la muestra	Porcentaje de defectuosos
1	4	5	1	8	12
2	3	6	9	9	4
3	3	7	5	10	3
4	6				

SOLUCIÓN

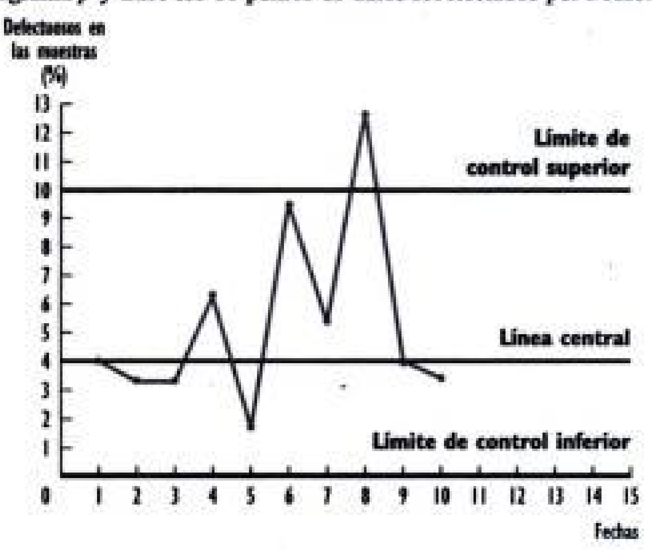
1. Calcule los límites de control 3σ para p:

   Primero, de la tabla 18.2, observe los límites de control para diagramas p:

   Límites de control superior $= \bar{p} + 3\sqrt{\bar{p}(100 - \bar{p})/n} = 4 + 3\sqrt{4(96)/100} = 4 + 3(1.9596)$
   $= 4 + 5.8788 = 9.88\%$

   Límites de control inferior $= \bar{p} - 3\sqrt{\bar{p}(100 - \bar{p})/n} = 4 - 3\sqrt{4(96)/100} = 4 - 3(1.9596)$
   $= 4 - 5.8788 = -1.88\%$, es decir, 0%

2. Elabore un diagrama p y trace los 10 puntos de datos recolectados por Pedro:



EJEMPLO 18.2

ELABORACIÓN DE DIAGRAMAS DE CONTROL PARA VARIABLES

Como parte de un programa de autodiagramado en su empresa, Joe Wilson desea elaborar diagramas $\bar{x}$ y R en la operación de llenado para hojuelas de maíz de 16 onzas. Los ingenieros han estudiado la operación de llenado y han llegado a la conclusión de que cuando se hace correctamente, las cajas promedian 16.1 onzas y las muestras horarias de 20 cajas en cada muestra presentan rangos de muestra que promedian 2.22 onzas. A continuación, aparecen los datos de muestras para 12 horas tomados por Joe:

Número de la muestra	Media de la muestra (onzas)	Rango de la muestra (onzas)	Número de la muestra	Media de la muestra (onzas)	Rango de la muestra (onzas)
1	16.2	2.0	7	16.0	2.9
2	15.9	2.1	8	16.1	1.8
3	16.3	1.8	9	16.3	1.5
4	16.4	3.0	10	16.3	1.0
5	15.8	3.5	11	16.4	1.0
6	15.9	3.1	12	16.5	0.9

SOLUCIÓN

1. Calcule los límites de control superior e inferior para los diagramas $\bar{x}$ y R:

   Primero, de la tabla 18.2 vea los límites de control para un diagrama $\bar{x}$ ($\bar{\bar{x}}$ es la línea central y es igual a 16.1 onzas; A se encuentra en la tabla 18.3, A = 0.180 cuando n = 20):

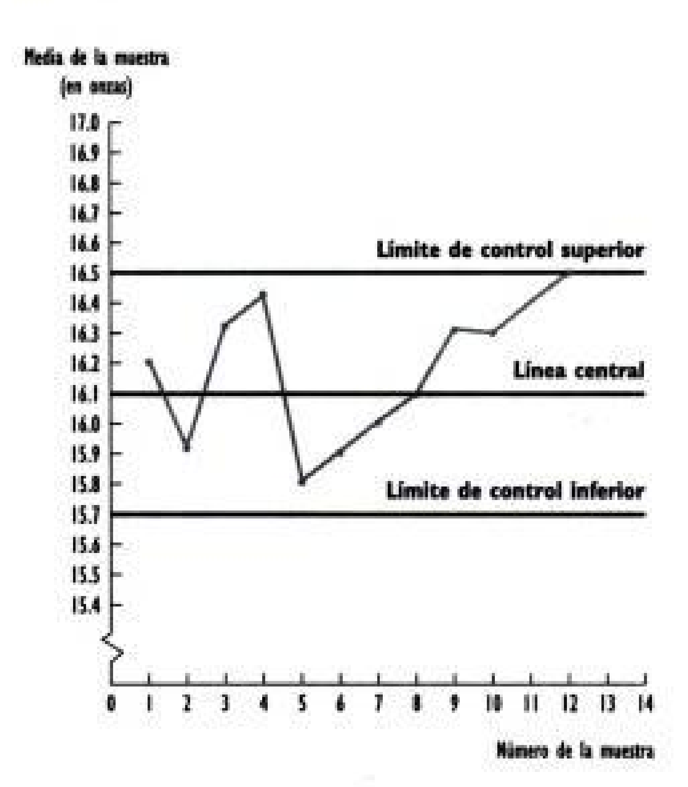
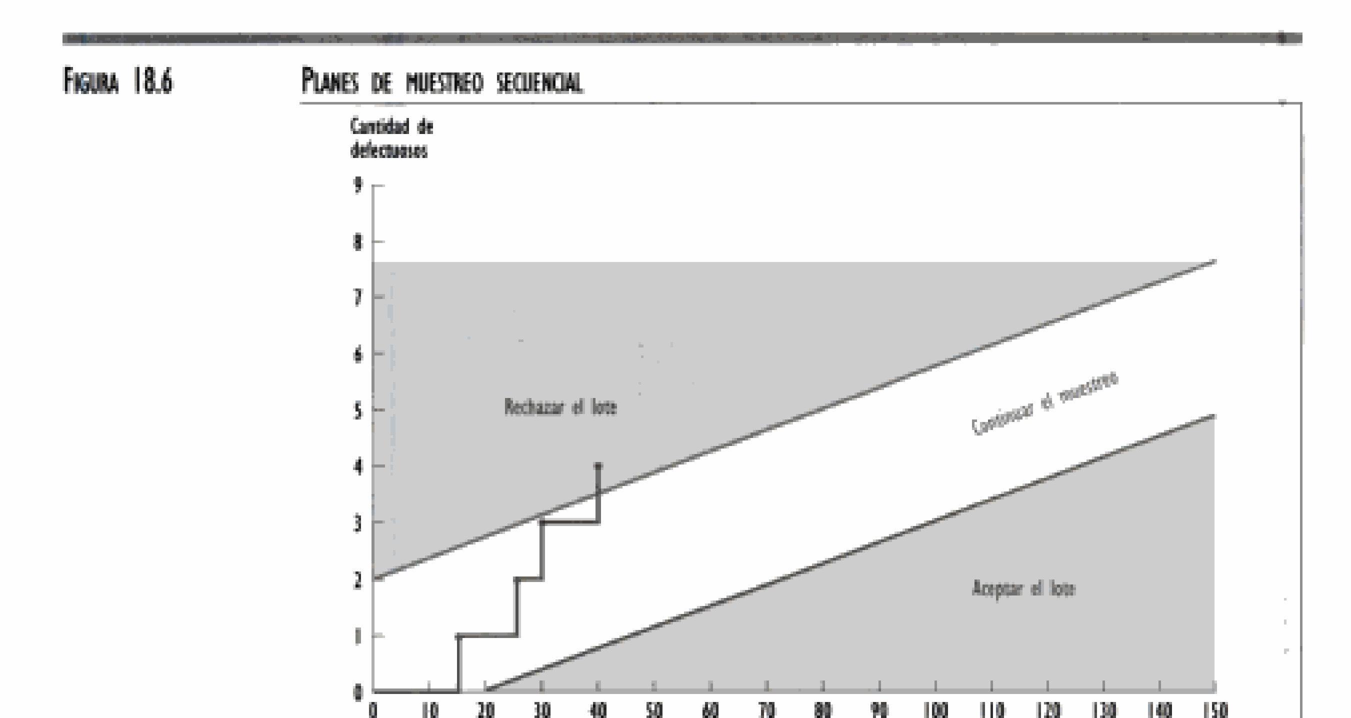


FIGURA 18.6 PLANES DE MUESTREO SECUENCIAL



continuar con el muestreo, por lo que continuamos muestreando unidades del lote, la segunda defectuosa es la unidad 25, y debemos seguir con el muestreo, la tercera defectuosa es la unidad 30 y seguimos el muestreo, la cuarta defectuosa es la unidad 40, y esto nos pone en la **zona de rechazar** el lote, por lo que el lote se rechaza. Es concebible que de esta manera todo el lote podría haberse probado unidad por unidad.

Veamos ahora cómo establecer los planes de aceptación para los atributos.

PLANES DE ACEPTACIÓN DE MUESTREO SIMPLE PARA ATRIBUTOS

La tabla 18.4 define varios términos que se utilizan en conexión con los planes de aceptación para atributos. Dos conceptos importantes se necesitan para comprender los planes de aceptación para atributos: las curvas características de operación y las curvas de calidad promedio de salida.

Curvas características de operación La **curva característica de operación** (**OC**, por sus siglas en inglés) es una gráfica del desempeño de un plan de aceptación. Muestra lo bien que un plan de aceptación discrimina lotes buenos y lotes malos. La figura 18.7 es un ejemplo de una curva OC para un plan de aceptación con $n = 50$ y $C = 1$, donde n es el tamaño de la muestra y c es la cantidad máxima de defectuosos que se pueden encontrar en una muestra para aceptar el lote: en otra palabras, si dos o más defectuosos aparecen en la muestra, entonces el lote debe rechazarse. A lo largo del eje horizontal de la figura 18.7 aparecen los porcentajes de defectuosos reales en lotes que llegan a inspección, lo que generalmente es desconocido, de 0 a 12%. El eje vertical es la probabilidad de aceptar los lotes. A lo largo de la curva OC de la figura 18.7 están las probabilidades de aceptar lotes en diversos niveles de porcentaje de defectuosos reales.

Podemos observar en la figura 18.7 que conforme se incrementa el porcentaje de defectuosos en lotes se reduce la probabilidad de aceptar los lotes. En esta figura, el **nivel de calidad aceptable (AQL)** es 1%; esto significa que lotes con 1% de defectuosos o menos se consideran buenos. P(A), la probabilidad de aceptar un lote, es 91.0% para el AQL. P(R) = 100% − P(A), la probabilidad de rechazar un lote, es 9.0% para el AQL y se conoce como el **riesgo del productor** (α) que es la probabilidad de rechazar un lote bueno. El **por ciento de defectuosos de tolerancia de**

un lote (LTPD, por sus siglas en inglés) es 8.0%, lo que significa que lotes que tengan más de 8% de defectuosos se consideran lotes malos. P(A) es 9.2% en el LTPD y esto se conoce como el **riesgo del consumidor (β)**, la probabilidad que tiene un cliente de aceptar un lote malo.

Una manera de ver el AQL y el LTPD es desde la perspectiva del consumidor. Recibir los lotes con menos que el AQL de porcentaje de defectuosos pudiera ser muy deseable para el consumidor. Recibir lotes que tengan más del LTPD de porcentaje de defectuosos generalmente sería inaceptable. Al comprender que el uso de una muestra para estimar el porcentaje real de defectuosos en el lote completo crea cierta incertidumbre, los clientes están deseosos de aceptar algunos lotes que tengan por ciento de defectuosos en AQL y en LTPD. Los valores reales utilizados por AQL, LTPD, α y β a veces se negocian entre productores y consumidores específicos y ayudan a definir los parámetros n y c para el plan de aceptación que se vaya a utilizar.

Nos gustaría tener planes de aceptación que siempre pasen lotes buenos y siempre hagan fallar lotes malos, pero este objetivo pudiera no lograrse, debido a dos tipos de errores de muestreo:

- **Errores del tipo I.** Un lote bueno se rechaza porque una muestra ha capturado demasiados defectuosos. Esto queda medido por el riesgo del productor (α), que es la probabilidad de rechazar un lote bueno.
- **Errores del tipo II.** Un lote malo se acepta porque una muestra ha capturado pocos defectuosos. Esto queda medido por el riesgo del consumidor (β), que es la probabilidad de aceptar un lote malo.

¿Cómo pueden los gerentes evitar estos errores? Primero, deben tomarse las muestras de manera que se asegure que sean verdaderamente aleatorias, mejorando así la probabilidad de que las muestras sean representativas de los lotes. Otra manera de reducir estos errores es incrementando el tamaño de la muestra. Para entender mejor porqué el tamaño de la muestra afecta el poder discriminador de los planes de aceptación, veamos como se construyen las curvas OC.

La tabla 18.5 contiene todas las probabilidades para graficar las tres curvas OC de la figura 18.8. Puede utilizarse la distribución de probabilidad de Poisson para encontrar la probabilidad de x defectuosos en una muestra:

TABLA 18.5 **PROBABILIDADES DE LAS TRES CURVAS CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN (%)**

π	n = 50, c = 1		n = 100, c = 2		n = N	
	P(A)	P(R)	P(A)	P(R)	P(A)	P(R)
0	100.0	0	100.0	0	100.0	0
AQL = 1	91.0	α = 9.0	92.0	α = 8.0	100.0	α = 0
2	73.6	26.4	67.7	32.3	0	100.0
3	55.8	44.2	42.3	57.7	0	100.0
4	40.6	59.4	23.8	76.2	0	100.0
5	28.6	71.3	12.5	87.5	0	100.0
6	19.9	80.1	6.2	93.8	0	100.0
LTPD = 8	β = 9.2	90.8	β = 1.4	98.6	β = 0	100.0
10	4.0	96.0	0.3	99.7	0	100.0

n = tamaño de la muestra
c = máxima cantidad de defectuosos por muestra para aceptar el lote
π = porcentaje de defectuosos en un lote que llega a inspección
P(A) = probabilidades de aceptar el lote
P(R) = probabilidades de rechazar el lote
α = riesgo del productor P(R) para AQL
β = riesgo del consumidor P(A) para LTPD

$$P(1) = (100)\frac{\left(50\frac{1}{100}\right)^1}{1!}2.71828^{-50(1/100)} = 30.3$$

$$P(A) = P(0) + P(1) = 60.7 + 30.3 = 91.0\%$$

Utilizando las probabilidades de la tabla 18.5, la figura 18.8 muestra la curvas OC para tres planes de aceptación. Comparemos las curvas de OC para dos de estos planes de aceptación: n = 50, c = 1; y n = 100, c = 2. Note que al duplicar n de 50 a 100 y al duplicar c de 1 a 2, hemos mantenido la relación c/n igual, pero a se ha reducido de 9.0% a 8% y b se ha reducido de 9.2% a 1.4%. Por lo que al incrementar el tamaño de la muestra la capacidad de los planes de aceptación para discriminar entre lotes buenos y malos mejora. Esto significa que rechazaríamos entonces menos lotes buenos y aceptaríamos menos lotes malos. Para demostrar más este punto, considere la curva OC del plan de aceptación para n = N de la figura 18.8. Este plan discrimina perfectamente entre lotes buenos y malos, dado que $\alpha = 0$ y $\beta = 0$. La probabilidad de aceptar un lote con 1% menos de defectuosos es de 100% y la probabilidad de rechazar un lote con más de 8% de defectuosos es de 100%, pero en este plan, el tamaño de la muestra tendría que ser idéntico al tamaño del lote; en otras palabras, todas las unidades del lote tendrían que incluirse en nuestra muestra y *por lo tanto, los gerentes pueden reducir el riesgo del productor* (α) *y el riesgo del consumidor* (β) *pero al costo adicional de tomar muestras más grandes.*

Curvas de calidad promedio de salida Los planes de aceptación aseguran a los gerentes con la seguridad que los porcentajes de defectuosos que realmente salen de una estación de inspección no se excederán de un cierto límite. La figura 18.9 ilustra este principio. Las probabilidades de la tabla 18.6 se utilizan para preparar la figura 18.9, que es la curva de **calidad promedio de salida (AOQ)**. Esta figura muestra que conforme se incrementa el porcentaje de defectuosos en lotes que llegan a inspección, el porcentaje de defectuosos que salen de inspección al principio se deteriora, después llega un pico en el **límite de calidad promedio de salida (AOQL)** y finalmente mejora. La mejora en la calidad ocurre porque conforme el plan de aceptación rechaza lotes, éstos se inspeccionan al 100% y los defectuosos se reemplazan con no defectuosos. El efecto neto de rechazar lotes es, por lo tanto, una mejora en la calidad de los lotes que salen de inspección. La situación extrema existe cuando todos los lotes se rechazan y el porcentaje de defectuosos que salen de una estación de inspección se acerca a cero.

Veamos ahora como estimar los criterios de aceptación en planes de aceptación de muestra simple para atributos.

Estimación de criterios de aceptación

En la práctica, lo que los gerentes de operación deben saber para tomar decisiones de aceptar o rechazar lotes de materiales, por lo que se refiere a atributos, es el tamaño de la muestra (n) y la cantidad máxima de defectuosos en una muestra para aceptar el lote (c). En la toma de estas decisiones utilizaremos dos procedimientos: las tablas Dodge-Romig y la estadística.

Uso de las tablas Dodge-Romig Una de las forma más comunes de establecer n y c es utilizando lo que a menudo se conoce como **tablas QC.** Los dos juegos más comunes de tablas son:

- **Tabla estándar militar MIL-STD-105D.** Estos planes de aceptación de atributos establecen n y c para un AQL especificado. Los lotes que se rechacen se inspeccionarán al 100%.
- **Tablas Dodge-Romig.** Tablas Dodge-Romig. Estos planes de aceptación de atributos establecen n y c y al mismo tiempo suponen que los lotes rechazados serán inspeccionados 100%, y que los defectuosos serán reemplazados por no defectuosos. Los usuarios deben especificar valores para el riesgo del consumidor (β), para el porcentaje aproximado de defectuosos reales en los lotes (π), el tamaño de los lotes N y el porcentaje de defectuosos de tolerancia del lote (LTPD).

TABLA 18.7 **SECCIÓN DE UNA TABLA DODGE-ROMIG CUANDO β ES 10%, LTPD ES 5.0% Y EL PROMEDIO DEL PROCESO (π) ES 2.01–2.50%**

Tamaño de lote	n	c	AOQL (%)
101–200	40	0	0.74
201–300	95	2	0.99
301–400	145	4	1.10
401–500	150	4	1.20
501–600	175	5	1.30
601–800	200	6	1.40
801–1,000	225	7	1.50
1,001–2,000	280	9	1.80
2,001–3,000	370	13	2.10

n = tamaño de la muestra
c = máxima cantidad de defectuosos por muestra para aceptar el lote
AOQL = límite de calidad promedio de salida

Fuente: Harold F. Dodge y Harry G. Romig, *Sampling Inspection Tables-Single and Double Sampling*, 2a. edición. Nueva York: Wiley, 1959.

Veamos cómo utilizaremos las tablas Dodge-Romig para establecer un plan de aceptación para un producto. Digamos que tenemos un lote de 350 piezas que proviene de un proceso de producción que suponemos está generando aproximadamente 2.25% de defectuosos y que podemos estipular:

1. El riesgo de consumidor (β) es 0.10. Esto significa que la probabilidad de aceptar lotes malos es 0.10.
2. El porcentaje de defectuosos de tolerancia del lote (LTPD) es de 5.0%. Esto significa que estamos definiendo lotes malos como aquellos que tengan más de 5.0% de defectuosos.

La tabla 18.7 es una sección de una tabla Dodge-Romig. Esta tabla se encontraría en un libro de tablas Dodge-Romig, donde $\beta = 0.10$, LTPD = 5.0%, y p es de entre 2.01 y 2.50%.[2]

Podemos observar de la tabla 18.7 que el tamaño de la muestra sería de 145 y aceptaríamos cualquier lote con cuatro o menos defectuosos en una muestra. También podemos ver que este plan de aceptación proporcionaría un límite de calidad promedio de salida (AOQL) de 1.10%. Observe que este plan de aceptación de $n = 145$ y $c = 4$ reduce el porcentaje de defectuosos en lotes con 2.25% al llegar a inspección, a un 1.10% a la salida de la inspección.

Uso de estadística En este procedimiento, estamos probando la hipótesis que una muestra proviene de una población con un cierto porcentaje de defectuosos. El propósito del análisis es establecer una regla de aceptación, que también se conoce como criterio de aceptación, contra la cual se compara el porcentaje de defectuosos de la muestra. Un lote será aceptado si los porcientos de defectuosos de la muestra no excede el criterio de aceptación o se rechaza si lo hace.

La tabla 18.8 exhibe las fórmulas y definiciones de las variables para calcular los criterios de aceptación. El ejemplo 18.3 muestra cómo utilizaríamos la estadística para formular un plan de aceptación. En este ejemplo, debemos estipular los valores de $\bar{p}$, en porcentaje de defectuosos promedio en los lotes; n, el tamaño de la muestra y el nivel de significancia α. Al pensar y seleccionar valores para α, hay que comprender los siguientes conceptos:

TABLA 18.8 FÓRMULAS Y DEFINICIONES DE VARIABLES PARA CALCULAR CRITERIOS DE ACEPTACIÓN EN LOS PLANES DE ACEPTACIÓN

Características a medirse	Medida de la muestra	Criterios de aceptación
Atributo	Porcentaje de defectuosos (p)	$\bar{p} + Z\sqrt{\bar{p}(100 - \bar{p})/n}$
Variable	Media de la muestra ($\bar{x}$)	$\bar{\bar{x}} \pm Z\sigma_{\bar{x}}$

α = nivel de significación; el área en una de las colas, si es un α de una sola cola o el área en ambas colas, si se trata de un α de dos colas. A diferencia del riesgo del productor, que se expresa en porcentajes, el nivel de significancia es una proporción.

p = porcentaje de defectuosos en una muestra

$\bar{p}$ = porcentaje promedio de defectuosos en el proceso

n = tamaño de la muestra

$\bar{x}$ = media de la muestra

$\bar{\bar{x}}$ = media de muchas medias de las muestras

Z = valores Z. Estos valores de la distribución normal dependen del nivel de significancia

$\sigma_{\bar{x}}$ = error estándar de la media de la distribución muestral. $\sigma_{\bar{x}} = \sigma_x/\sqrt{n}$, donde σ_x es la desviación estándar de la población.

EJEMPLO 18.3

ESTABLECIMIENTO DE UN CRITERIO DE ACEPTACIÓN PARA ATRIBUTOS

Precision Bearing Company en Toledo, Ohio, produce cojinetes y baleros de varios tamaños para los fabricantes de automóviles. Uno de estos cojinetes, el de ½" 5525 Chrome Polished Bearing, No. 3580 ha sido objeto en meses recientes de numerosas quejas por parte de los clientes debido a defectos superficiales. Marsha Pool, directora del departamento de control de calidad de Precision, ha decidido que se debe establecer un plan de aceptación basado en muestras aleatorias para este producto. Marsha analiza cuidadosamente los registros de periodos pasados cuando la operación de pulido superficial se sabía estaba operando correctamente y encuentra que 2% de los cojinetes No. 3580 eran defectuosos. Si se ha de utilizar un tamaño de muestra de 200 cojinetes y un nivel de significancia de una cola de 0.025: **a.** Establezca el criterio de aceptación para el porcentaje de defectuosos en una muestra. **b.** Si se toma una muestra con siete cojinetes defectuosos, ¿deberá aceptarse el lote?

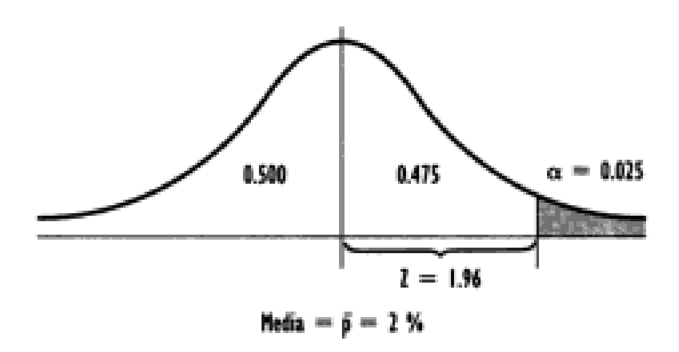
SOLUCIÓN

a. Establezca el criterio de aceptación para el porcentaje de defectuosos en una muestra:

Primero, refiérase a la tabla 18.8 y observe que la fórmula del criterio de aceptación para el porcentaje de defectuosos es:

$$\bar{p} + Z\sqrt{\bar{p}(100 - \bar{p})/n}$$

donde $\bar{p}$ es el porcentaje de defectuosos promedio para el proceso y es igual, en este ejemplo, a 2%.



Dado que $\alpha = 0.025$, esto define a Z en 1.96 en la distribución muestral normal. Por lo tanto, el criterio de aceptación para p es:

$$\bar{p} + Z\sqrt{\bar{p}(100 - \bar{p})/n} = 2 + 1.96\sqrt{2(98)/200} = 2 + 1.96(0.9899) = 2 + 1.9403$$
$$= 3.9403, \text{ o } 3.94\%$$

b. Una muestra de 200 cojinetes tiene siete defectuosos. ¿Deberá aceptarse la muestra?

Sí, ya que 7/200 = 3.5%, lo que cae dentro del criterio de aceptación de 3.94% de defectuosos. Rechazaríamos cualquier lote que contenga más de 3.94% de defectuosos en una muestra.

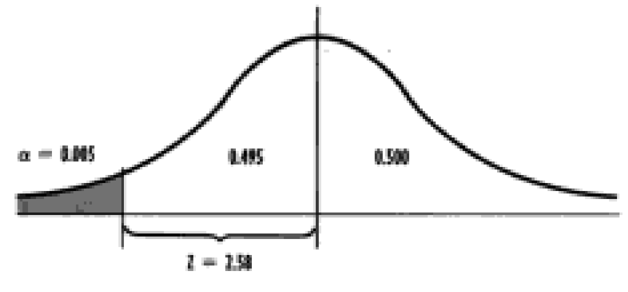
- α es el nivel de significancia, la probabilidad de que un porcentaje de defectuosos de la muestra exceda el criterio de aceptación simplemente debido al azar.
- α comúnmente se especifica como política gerencial, un enunciado sobre la preferencia respecto a errores de Tipo I y II.
- Al establecer el criterio de aceptación para el porcentaje de defectuosos, α es una prueba de una sola cola. En otras palabras, estamos interesados en determinar si un porcentaje de defectuosos de una muestra es *demasiado grande* para aceptar la hipótesis que la muestra proviene de una población con un cierto porcentaje de defectuosos.
- Al establecer el valor de α, por lo común se utilizan las reglas de la tabla 18.9, aunque existen excepciones.
- α es el riesgo del productor que analizamos anteriormente: la probabilidad de rechazar un lote bueno, así como el nivel de significancia.

Los planes de aceptación para variables no se encuentran tan comúnmente en los libros de tablas como aquellos para atributos. Los cálculos estadísticos, por lo tanto, tienden a emplearse en el establecimiento de estos planes de aceptación.

PLANES DE ACEPTACIÓN DE UNA MUESTRA PARA VARIABLES

En el uso de las estadística para establecer un plan de aceptación para las variables, estamos probando la hipótesis de una muestra proviene de una población con ciertas características variables. El propósito del análisis es establecer reglas de aceptación y rechazo, que también se conocen como criterios de aceptación, contra los cuales se compararán las características de la muestra. Un lote se aceptará si una muestra de lote cumple con los criterios de aceptación; se rechazará si no lo hace.

El ejemplo 18.4 muestra cómo establecer criterios de aceptación para medias de la muestra. Establecer nuevos criterios de aceptación en este ejemplo requiere que sean conocidas la media de las medias de la muestra $\bar{\bar{x}}$, el nivel de significancia (α) y el error estándar de la media de la distribución muestral ($\sigma_{\bar{x}}$). En los planes de aceptación para variables, α tiene el mismo significado anterior en relación con los planes de aceptación para atributos, con una excepción importante: α puede ser apli-



Dado que $\alpha = 0.005$, el valor Z es de 2.58. Debido a que $\sigma_x = 1{,}625$ del problema,

$$\sigma_{\bar{x}} = \sigma_x/\sqrt{n} = 1{,}625/\sqrt{50} = 229.81 \text{ libras por pulgada cuadrada}$$

Por lo tanto, el criterio de aceptación es:

$$\text{Criterio de aceptación} = \bar{x} - Z\sigma_{\bar{x}} = 12{,}500 - 2.58(229.81) = 12{,}500 - 592.91$$
$$= 11{,}907.09 \text{ libras por pulgada cuadrada}$$

A Luis Gentry no le preocupa que una sección del pavimento pudiera tener una resistencia a la compresión demasiado elevada.

b. ¿Se aceptará una sección con una resistencia a la compresión media de la muestra de 11,500 libras por pulgada cuadrada?

No, dado que 11,500 queda fuera del criterio mínimo de aceptación de la media de muestra de 11,907.09 libras por pulgada cuadrada.

COMPUTADORAS EN EL CONTROL DE CALIDAD

El uso de computadoras está extendido en control de calidad. Industrias como la automotriz, farmacéutica, de alimentos y de productos químicos especiales, están obligadas, por reglamentaciones de los gobiernos federales y estatales, a ser capaces de rastrear defectos en toda la producción y en el sistema de distribución. Incluso, si una industria no está estrictamente reglamentada por las oficinas gubernamentales. Ese tipo de registros se mantiene al día, para limitar exponer a una empresa a un juicio de responsabilidad civil contra terceros o con la amenaza de este tipo de acción. Además, es simplemente buena administración para una compañía ser capaz de trazar sus productos desde la producción hasta su uso por el consumidor y este rastreo se está convirtiendo en factible y económico utilizando computadoras. Programas de recuperación de mercaderías, publicados en años recientes, resaltan la importancia de estos sistemas de cómputo. Estos programas de recuperación requieren que los fabricantes 1) sepan cuáles son los números de lote de las materias primas, ensambles y partes responsables de defectos potenciales; 2) tengan un sistema de almacenamiento de información que vincule el número de los lotes de las materias primas, ensambles y partes sospechosas con el número de modelo de los productos finales, y 3) tengan un sistema de información que pueda rastrear números de modelos de los productos finales a los consumidores.

Las computadoras también entregan a los gerentes información más oportuna y económica sobre la calidad de productos y servicios. Puesto que los diagramas de control pueden prepararse con rapidez, se reduce el retraso entre el momento en que los materiales, ensambles, partes y productos se inspeccionan y el momento cuando se publican los resultados sobre los diagramas de control. Los programas de computadora también se utilizan en decisiones de aceptación de lotes. *Con la automatización, la inspección y las pruebas pueden resultar tan poco costosas y rápidas que las compañías pueden incrementar el tamaño de las muestras y su frecuencia, consiguiendo así mayor precisión, tanto en los diagramas de control como en los planes de aceptación.* En algunos casos, los planes de aceptación pueden abandonarse completamente y reemplazarse por inspección y pruebas de 100%.



Los códigos de barra computarizados, como el rollo de códigos que aquí se muestra, mientras se verifica su textura superficial, ayudan en el rastreo de productos, desde su producción hasta su uso por parte del consumidor.

Por ejemplo, en Garret Pneumatic Systems, de Phoenix, se utilizan computadoras para probar los productos conforme salen de la línea de ensamble. Estas pruebas son tan rápidas que ahora resulta económica una inspección de 100%. También las pruebas son tan completas que es posible probar con rapidez todas las funciones del producto.[3]

Además de las inspecciones automáticas en las que se utilizan computadoras para verificar la calidad de los productos después de su fabricación, las computadoras también se están utilizando para controlar directamente la calidad de los productos *mientras* se están elaborando. Como se analizó en el capítulo 5, los controles automáticos de los procesos miden el desempeño de los procesos de producción durante la fabricación, y efectúan automáticamente correcciones a los ajustes de los procesos para evitar productos defectuosos. La Instantánea industrial 18.1 describió cómo se utilizó software de control estadístico de los procesos en Georgia-Pacific para ayudar a controlar la calidad.

Los sistemas de servicio también deben preocuparse de la calidad de sus servicios.

Control de calidad en los servicios

En el capítulo 17, Administración de la calidad, analizamos la administración de la calidad total (TQM) en los servicios. La Instantánea industrial 17.6 dio ejemplos de cómo la administración de la calidad total (TQM) es aplicada en bancos, hospitales, universidades, oficinas legales y empre-

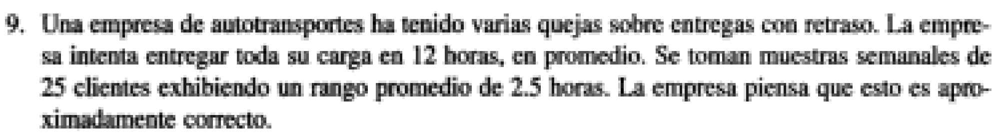
6. Una aseguradora lleva control del absentismo mediante muestras aleatorias semanales. La empresa espera que aproximadamente 250 empleados estén ausentes de su fuerza de trabajo de 5,000, en promedio. Los tamaños de muestras y número de ausencias son los siguientes:

Número de muestra	Tamaño de la muestra	Cantidad de ausentes	Número de muestra	Tamaño de la muestra	Cantidad de ausentes
1	100	5	6	100	7
2	120	6	7	110	8
3	90	6	8	90	10
4	95	7	9	130	11
5	110	7	10	120	10

a. Construya un diagrama de control 3σ para p y trace los puntos de los datos de la muestra (*sugerencia*: los límites de control superior e inferior varían con el tamaño de la muestra).
b. ¿Ha habido algún cambio en la tasa de absentismo?

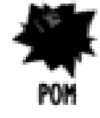
7. Si $\bar{\bar{x}} = 12$ pulgadas, $\bar{R} = 3$ pulgadas y $n = 20$:
a. Calcule los límites de control 3σ para x.
b. Trace estas medias de muestra en un diagrama de control $\bar{x}$: 12.1, 12.5, 12.7, 12.2, 12.8, 12.7, 12.1, 11.8, 11.7, 12.0.
c. Decida si el proceso está en control.

8. Si $\bar{R} = 3.0$ pulgadas y $n = 20$:
a. Calcule los límites de control 3σ para R.
b. Trace estos rangos de muestra en un diagrama de control 3σ para R: 0.9, 2.6, 4.9, 3.4, 0.6, 0.7, 4.8, 4.5, 4.1, 1.6.
c. ¿Está en control el proceso?



POM

9. Una empresa de autotransportes ha tenido varias quejas sobre entregas con retraso. La empresa intenta entregar toda su carga en 12 horas, en promedio. Se toman muestras semanales de 25 clientes exhibiendo un rango promedio de 2.5 horas. La empresa piensa que esto es aproximadamente correcto.
a. Calcule los límites de control 3σ para $\bar{x}$.
b. Trace estas medias de muestra en un diagrama de control 3σ para $\bar{x}$: 11.4, 12.2, 12.0, 11.9, 12.6, 12.4, 12.1, 11.8, 11.5, 12.4.
c. ¿Se está cumpliendo con la meta de la gerencia de una entrega promedio de 12 horas?



10. Una empresa fabrica un ventilador eléctrico para enfriamiento. Cuando los ventiladores están funcionando correctamente, las muestras de 200 ventiladores promedian 12.5 watts, con un rango promedio de 1.2 watts. Un programa de diagrama de control 3σ está utilizándose para monitorear el desempeño de los ventiladores y se recolectaron estos datos de las 10 muestras más recientes:

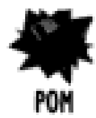
Número de muestra	Media de la muestra (watts)	Rango de la muestra (watts)	Número de la muestra	Media de la muestra (watts)	Rango de la muestra (watts)
1	12.50	1.1	6	12.60	1.0
2	12.45	1.2	7	12.48	1.4
3	12.55	0.9	8	12.46	1.1
4	12.50	0.8	9	12.56	0.9
5	13.45	0.9	10	12.48	0.8

a. Calcule los límites de control 3σ y la línea central para un diagrama $\bar{x}$.
b. Calcule los límites de control 3σ y la línea central para un programa R.
c. Trace los datos de muestra y los diagramas $\bar{x}$ y R, y decida si el desempeño de los ventiladores está en control.



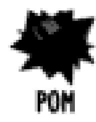
11. Una empresa embotella refrescos. Las botellas solamente tienen un sabor y un tamaño (16 onzas). Las primeras muestras diarias de los pesos de llenado de 20 botellas son:

canza 20,000 libras, pasan. Si fallan antes, no pasan. Los lotes buenos de pernos promedian aproximadamente 0.05 de defectuosos. Una muestra de 200 pernos de un lote acaba de ser probado y 197 pasaron. Si, dada la elección, usted preferiría equivocarse del lado de rechazar lotes buenos, ¿debería usted aceptar este lote?



20. Si $\mu = 20$ onzas, $\sigma_x = 2$ onzas, n = 196, $\bar{x} = 19.40$ onzas y $\alpha = 0.10$ para dos filas, determine si debe aceptar o rechazar el lote.

21. Sun River Coal Company vende coque a una fundidora de acero en Utah. Los registros de la acería muestran que cuando Sun River pone cuidado, sus carros de carbón promedian 55 toneladas, con una desviación estándar de una tonelada, pero cuando Sun River no pone cuidado, la fundidora debe descargar los carros, pesar con exactitud cargas de carbón de 55 toneladas y acto seguido cargar los hornos de coque. La fundidora desea tomar muestras diarias del peso de los carros y determinar si es necesario descargar y pesar el embarque completo diario. Se seleccionan al azar 20 carros del embarque de un día y el peso medio del carro es de 54.5 toneladas. Si la acería prefiriera equivocarse en lugar de aceptar carros fuera de peso, ¿deberían introducir el embarque de Sun River del día directamente a los hornos de coque?



22. Un profesor lleva control del promedio semestral de puntos de calificación de sus estudiantes,. En general, ha encontrado que sus estudiantes promedian 2.2 sobre 4, con una desviación estándar de 0.55 entre todos sus estudiantes, que es aproximadamente lo mismo para toda la Universidad. Este semestre, sin embargo, los estudiantes en uno de sus grupos de 105 alumnos parece estar desempeñándose mejor de lo que debería en sus exámenes. Este grupo tiene un promedio de puntos de calificación de 2.33, y este profesor se pregunta si este grupo en particular pudiera estar académicamente por encima del promedio. Utilice lo que ha aprendido en análisis de control de calidad para ayudar al profesor a resolver este problema.

Casos

Gas Generator Corporation

Bill Blane acaba de ser promovido a gerente de plantas y director de la planta más grande de Gas Generator Corporation, localizada en Carbondale, Illinois. Los productos de la planta son generadores de gas, que sirven como fuente de energía para los sistemas direccionales de los misiles estadounidenses más avanzados. Después de la euforia de trasladar su familia de California a su nuevo hogar, de presentarse ante su nuevo personal y de organizarse en su nueva oficina, recibió malas noticias: un lote de los productos de la planta acababa de ser rechazado por su mejor cliente. Notó que el personal de oficina de la planta no se veía demasiado preocupado, porque, de acuerdo con que ellos, había ocurrido antes.

En cuanto se recibieron los datos de prueba del cliente, el señor Blane llamó a reunión a todo el personal técnico. Hizo las siguientes preguntas: 1) ¿Cuál es la naturaleza de la falla de la prueba? 2) ¿Qué causó que se produjeran productos por debajo de los estándares? 3) ¿Qué tendría que haberse hecho de manera diferente en nuestro proceso de producción para evitar el problema? 4) ¿Cuál es el impacto de esta falla en nuestras operaciones? El personal resumió la naturaleza de la falla de la siguiente manera: los productos se desempeñaron bien bajo todas las condiciones, excepto en el encendido a muy bajas temperaturas; entonces, los generadores produjeron volúmenes de gas sólo ligeramente por debajo del estándar. Por lo que se refiere a las demás preguntas, las respuestas eran las mismas "¡no sabemos!". El señor Blane dio al grupo instrucciones para que desarrollaran respuestas a sus preguntas. Entonces llamó a la oficina central para informar a su jefe, Don Billigan, que un problema potencialmente grande se estaba presentando y que lo mantendría informado del avance de la investigación.

La siguiente mañana el personal se volvió a reunir para analizar el problema. Las noticias eran mucho peor es de lo que el señor Blane había supuesto. La totalidad del inventario de productos terminados y el inventario en proceso, hasta la etapa de mezclado, era subestándar. Dado que por lo

menos tomaría tres meses introducir nuevos materiales en la etapa de mezclado y procesarlos a través de ensamble final y entrega, la planta se enfrentaba a una perspectiva de tres meses de llenar el ducto sin ingreso alguno. Los miembros del personal, sin embargo, seguían desorientados respecto a la causa exacta de la falla. Blane llamó a Billigan y le dió las malas noticias: "no tendremos ningún producto terminado para embarcar por lo menos 90 días y durante este periodo tendremos una pérdida neta de aproximadamente 500,000 dólares antes de impuestos, estaremos en falla con nuestros contratos de entrega y no sabemos de una manera segura lo que causó el problema, o lo que es necesario hacer para corregirlo, pero estamos continuando la investigación".

El señor Blane empezó con la operación de mezclado y siguió a través del proceso de producción para determinar si los trabajadores estaban cumpliendo con el *Manual of Standard Operating Procedures*. Se asignaron dos observadores a cada operación de importancia en el proceso para verificar que los procedimientos se estuvieran siguiendo. Tomó solamente una semana determinar que en la operación de mezclado los trabajadores no estaban siguiendo los procedimientos. Tomó otra semana verificar que cuando los procedimientos se seguían religiosamente, los materiales en proceso cumplían con las especificaciones de desempeño de control de calidad.

Tarea

1. ¿Cuáles son la causas subyacentes del problema de control de calidad en la planta de Gas Generator?
2. Analice cualquier deficiencia en el programa de control de calidad que resulte aparente de este caso.
3. ¿Por qué las pruebas de aceptación no detectaron el problema antes que los descubriera el cliente? ¿Es esta situación posible? ¿De qué manera se presentaría un problema de este tipo?
4. Analice lo apropiado de los métodos que utilizó el señor Blane para investigar el problema. ¿De qué manera pudiera haber actuado para lograr mejores resultados?
5. Describa la manera en que un programa de control de calidad debería operar para que se pudieran evitar este tipo de problemas.
6. ¿Qué cambios deberá efectuar el señor Blane en la planta Gas Generator?

INTEGRATED PRODUCTS CORPORATION

Integrated Products Corporation (IPC) fabrica resinas. La compañía instaló el año pasado lo que denominó *Total Quality Management (TQM)*. El propósito de este nuevo programa era involucrar a todos, desde el gerente de la planta hasta los trabajadores de piso del taller, para conseguir una calidad excelente en el producto. Este programa tendría conceptos de *calidad en el origen* y *círculos de calidad*. Se ha desarrollado una nueva resina y el departamento de control de calidad IPC está ahora desarrollando un plan de calidad para el nuevo producto. De particular importancia es un plan de aceptación para la resina terminada, antes que sea embarcada a los clientes de IPC. "La característica de desempeño clave de la resina es su vida después de mezclada", es decir, tiempo que toma a la resina convertirse en su forma terminada después de que ha sido mezclada con plastificante. "La vida mezclada nominal" de la resina es 2.5 minutos a la temperatura ambiente, con una desviación estándar de 0.2 minutos. La unidad de embarque ordinaria de la resina es una bolsa de 10 libras y el plan de calidad pretende tomar muestras al azar de 200 bolsas retiradas de lotes de 10,000 bolsas de producción terminada.

Tarea

1. ¿Qué criterios de aceptación para lotes de producción recomendaría usted para las medias de las muestras a un nivel de significancia de dos colas de 0.01?
2. ¿Si se utiliza un nivel de significancia de dos colas de 0.01, qué es lo que esto dice sobre la actitud por parte de la gerencia, respecto a la aceptación de lotes malos en contraposición a rechazar lote buenos? ¿Parece esta actitud razonable, tomando en consideración la naturaleza del producto?
3. Explique lo que significa administración de la calidad total (TQM) ¿Cuáles son los elementos principales de TQM? ¿Cuáles son sus ventajas principales?

Capítulo 19

Planeación y control de proyectos

Introducción

Administración de proyectos

Técnicas de planeación y control de los proyectos

Diagramas de planeación y de control

Método de la ruta crítica

Técnica de evaluación y revisión de programas

Sistemas de control de costos de los proyectos

CPM-PERT en la práctica

Holgura meta en comparación con holgura de proyecto

Intercambios costo y tiempo de una actividad

Software para la administración de proyectos

Una evaluación de CPM/PERT

Recopilación: lo que hacen los productores de clase mundial

Preguntas de repaso y análisis

Tareas en Internet

Problemas

Casos

Maxwell Construction Company

Advanced Aerospace Corporation

Bibliografía seleccionada



ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO RATS

Bill Williams, gerente de la planta de Power Systems de Marion, Illinois, recibió una llamada telefónica de Ivor Kaney, vicepresidente de comercialización en las oficinas centrales divisionales. Ivor preguntó si Bill deseaba licitar un nuevo producto que podría más que duplicar las ventas anuales en la planta, de 9.5 millones a 20.6 millones de dólares. El nuevo producto, conocido como Rocket Aerial Target System (RATS), era una diana aérea desechable de bajo costo e impulsada por cohete, que sería derribada en las áreas de tiro del ejército estadounidense mediante misiles de detección térmica. El proyecto requería preparar una propuesta técnica, someter un presupuesto, la construcción de 10 cohetes prototipo y volar tres cohetes para el ejército. Todo esto tenía que efectuarse en cuatro meses y medio. Después de una reunión con el personal de comercialización de la división y los representantes del ejército de Estados Unidos, Bill decidió conjuntar un equipo de proyecto en su planta para responder a la propuesta y al proyecto de desarrollo. Para el equipo, Bill nombró un gerente de proyecto, un ingeniero de vuelo, un especialista de diseño de sistemas, un ingeniero de producción, un responsable de seguridad y saneamiento y un analista de costos. Estas personas eran los mejores de varios departamentos de la planta. Los miembros del proyecto quedarían asignados al equipo durante toda su duración, que se esperaba no sería más de cinco meses. El gerente de proyecto respondería directamente ante el gerente de la planta y se haría responsable del desempeño del equipo, para mantenerse dentro del presupuesto, del cumplimiento de programas y calendarios, y de cumplir exitosamente los objetivos del equipo del proyecto. El equipo tenía que desarrollar con rapidez un plan para completar las actividades del proyecto y ejecutarlas.

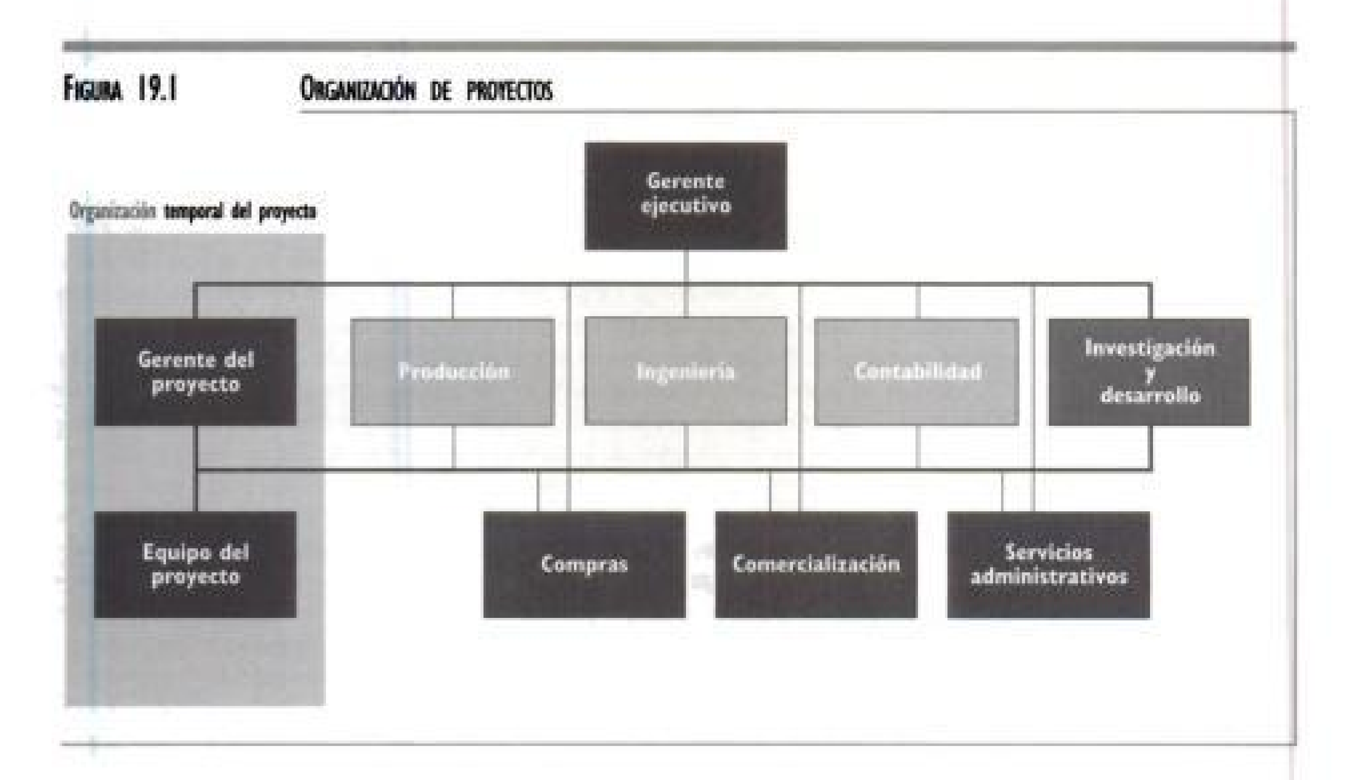
Como ilustra el relato anterior, frecuentemente los equipos de proyecto deben formarse para lograr iniciativas organizacionales clave. Proyectos como el desarrollo de nuevos productos, operaciones de automatización de la producción, implementación de manufactura justo a tiempo (JIT) y el inicio de un programa de administración de la calidad total (TQM) son vitales para el éxito en la competencia global, y estas actividades requieren que los empleados trabajen en equipo. Probablemente usted trabajará en este tipo de equipos desde el inicio de su actividad profesional, y verá que trabajar en equipo es un reto, porque generalmente los equipos deben trabajar con programas muy apretados de tiempo, seguir presupuestos muy estrictos, quedar temporalmente separados de sus puestos ordinarios y cooperar realmente con los demás. Mientras el trabajo del proyecto avanza, el resto de la organización debe continuar con la producción normal. Dada la dificultad de administrar simultáneamente estos proyectos y la producción de bienes y servicios de la organización, se han desarrollado nuevos procedimientos para la planeación y control de los proyectos.

ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS

Para asegurar tanto la continuidad del sistema de producción en sus actividades cotidianas como la terminación con éxito de los proyectos, se han desarrollado nuevas formas organizativas. Entre éstas, la **organización del proyecto** tiene un papel destacado. La figura 19.1 muestra que los equipos de proyectos se reclutan en los departamentos de la organización y se asignan temporalmente, de tiempo completo o parcial, a equipos de proyectos.

Por lo general, se nombra un gerente de proyecto para que encabece al equipo, coordine sus actividades, y las actividades de otros departamentos relacionados con el proyecto y se haga directamente responsable ante el nivel más elevado de la organización. Esta exposición administrativa ejecutiva brinda al proyecto mucha pericia dentro de la organización, asegura la atención de los departamentos funcionales hacia el proyecto y alienta la cooperación entre el equipo del proyecto y otras unidades de la organización.

FIGURA 19.1 **ORGANIZACIÓN DE PROYECTOS**



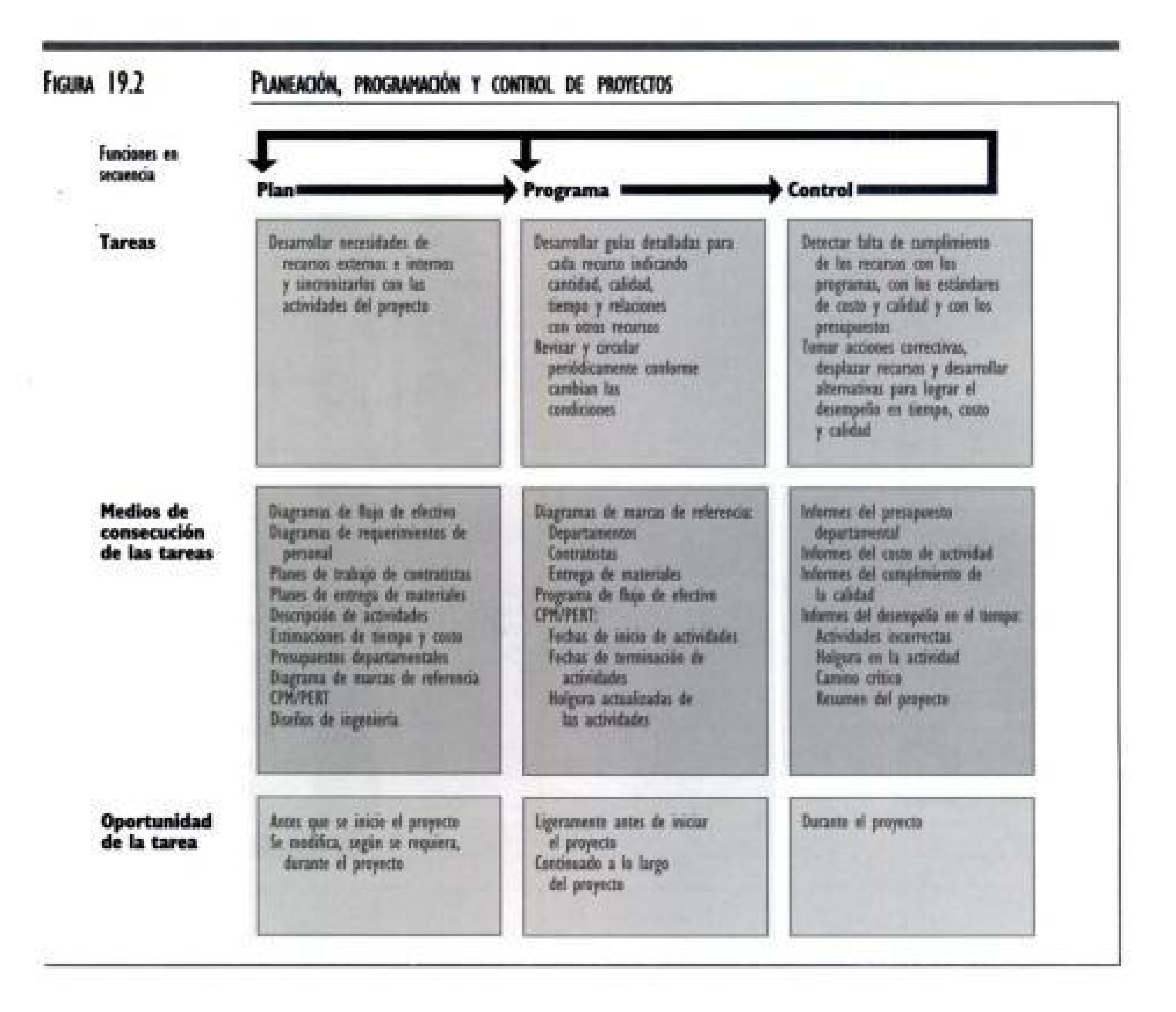
Normalmente, la organización del proyecto se establece mucho antes de su inicio, de manera que se pueda desarrollar el plan del proyecto. La figura 19.2 muestra la interrelación entre las funciones de planeación, programación y control del proyecto. Note que el plan se establece antes de que empiecen sus actividades y se modifica conforme cambian las condiciones durante su desarrollo. El plan es el plano y guía general para lograr la conclusión exitosa del proyecto.

Las funciones de planeación y control se desarrollan conforme avanza el proyecto y aseguran el desempeño oportuno de sus actividades dentro de estándares de costo y calidad. La generación



Para lograr metas clave de la empresa, por ejemplo el desarrollo de nuevos productos, los empleados trabajan en equipo para concentrar sus esfuerzos y enfocarse a metas comunes.

FIGURA 19.2 **PLANEACIÓN, PROGRAMACIÓN Y CONTROL DE PROYECTOS**

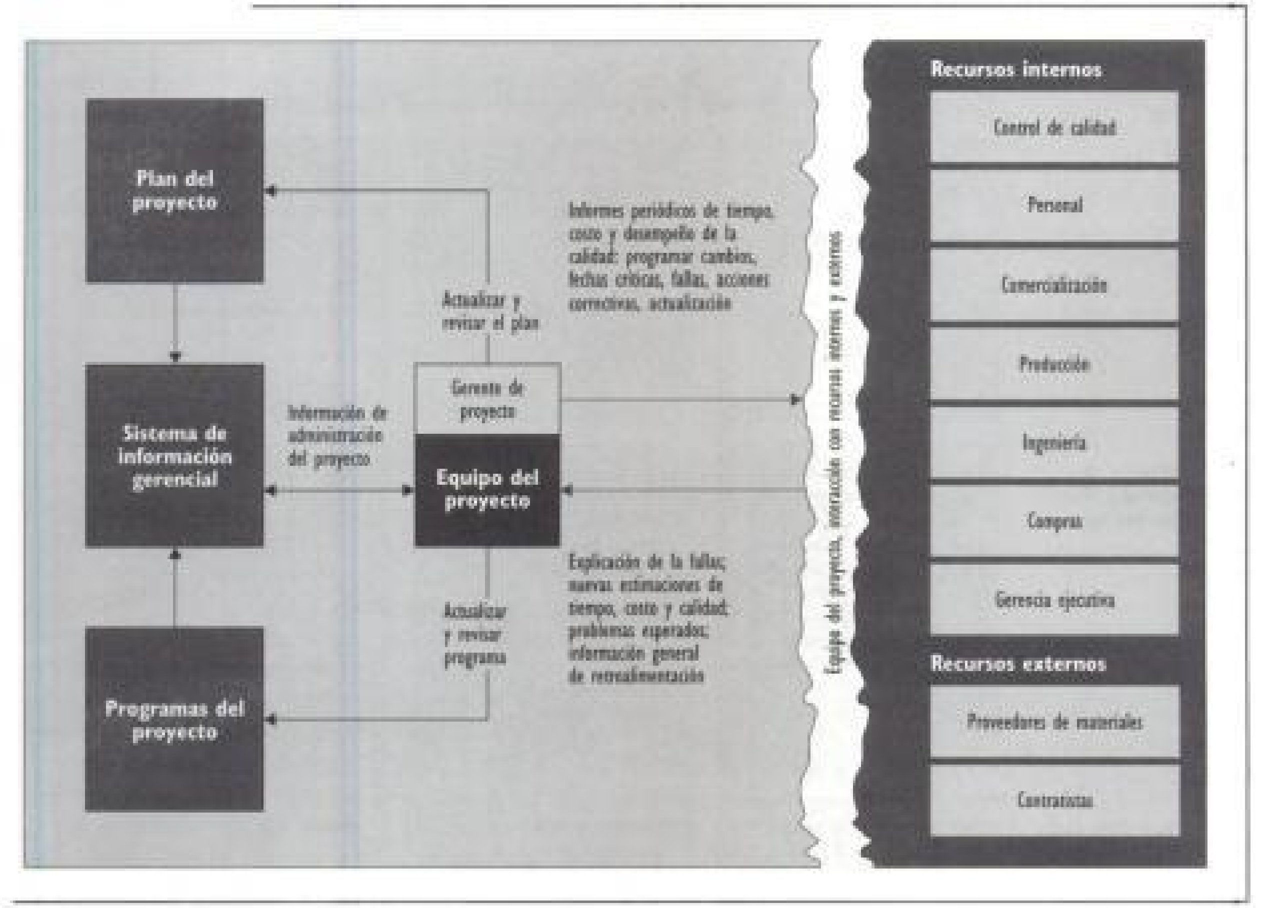


periódica de diagramas, informes y programas actualizados mantienen en forma a todas las partes interesadas sobre su trabajo en particular, y acerca de cuándo debe ejecutarse cada actividad, qué acciones correctivas se requieren y qué problemas en particular deben vigilarse.

El ingrediente clave en la programación y control del proyecto es su equipo. La figura 19.3 muestra que el equipo es el eje en que gira el proyecto. El equipo del proyecto suministra cambios actualizados al plan y a los programas del proyecto a través del sistema de información gerencial; además, envía informes periódicos sobre tiempo, costo, desempeño y calidad de sus recursos externos e internos, y recibe información de regreso de sus recursos respecto al avance del proyecto. (este proceso continúa durante toda su vida).

Un desarrollo bastante interesante se refiere a la institucionalización permanente de la forma organizacional para proyectos en organizaciones que dependen básicamente de productos que se manejan mejor como proyectos. Las empresas aerospaciales, las constructoras, las de cómputo y otros tipos de firmas han utilizado la forma de organización de proyectos durante tanto tiempo, que se ha convertido en parte permanente de sus estructuras organizacionales. Los gerentes de proyecto, los miembros de los equipos de proyectos y el sistema de información de la administración de proyectos sigue modificándose y adaptándose a las nuevas tareas de proyectos. La Instantánea industrial 19.1 analiza el campo de la administración de proyectos como profesión.

FIGURA 19.3 **PROGRAMACIÓN Y CONTROL DE PROYECTOS UTILIZANDO EQUIPOS DE PROYECTO**



Existen nuevas técnicas para facilitar la terminación oportuna de actividades de un proyecto dentro de los estándares de tiempo, costo y calidad del plan del proyecto. Aquí se presentan algunas de las técnicas de planeación y control de uso más frecuente.

TÉCNICAS DE PLANEACIÓN Y CONTROL DE LOS PROYECTOS

La tabla 19.1 presenta definiciones de los términos utilizados en la planeación y control de los proyectos. *Estos términos son el lenguaje de la administración de los proyectos* y los utilizamos para explicar el uso de los diagramas de programación y de control, CPM, PERT y los sistemas de control del costo del proyecto.

DIAGRAMAS DE PROGRAMACIÓN Y DE CONTROL

Los diagramas de programación y de control son las herramientas más frecuentemente empleadas para administrar proyectos. Primero, cada diagrama planea y programa alguna parte específica del proyecto: ¿qué debe hacerse y cuándo? Segundo, conforme avanza el proyecto, los diagramas se actualizan para mostrar cuánto del plan ha sido realizado. De esta manera, los gerentes del proyecto pueden comparar los logros reales de los trabajos del proyecto con el avance planeado. Este procedimiento permite cambios racionales en el uso de recursos por la administración para completar el proyecto dentro de metas de tiempo, costo y calidad.

TABLA 19.1 **TÉRMINOS UTILIZADOS EN LA ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS**

Actividad Determinada cantidad de trabajo requerida en el proyecto.

Duración de la actividad En CPM, la mejor estimación del tiempo para completar una actividad. En PERT, el tiempo esperado o el tiempo promedio para completar una actividad

Actividad crítica Actividad que no tiene capacidad para atrasos del programa; si se atrasa, todo el proyecto se atrasará. Una actividad con cero holgura.

Ruta crítica La cadena de actividades críticas de un proyecto. La ruta o trayectoria más larga a través de la red.

Actividad ficticia Actividad que no ocupa tiempo, pero que muestra la precedencia entre actividades.

Terminación más temprana (EF, por sus siglas en inglés) Lo más pronto que una actividad puede terminarse a partir del inicio del proyecto.

Inicio más temprano (ES, por sus siglas en inglés) Lo más pronto que una actividad puede iniciarse a partir del inicio del proyecto.

Evento Un principio, un punto de terminación o un logro dentro del proyecto. Una actividad se inicia y termina en eventos.

Terminación más tardía (LF, por sus siglas en inglés) Lo más tardíamente que una actividad puede terminarse, desde el inicio del proyecto, sin causar un retraso en su finalización.

Inicio más tardío (LS, por sus siglas en inglés) Lo más tardíamente que una actividad puede iniciarse, desde el inicio del proyecto, sin causar retraso en su finalización.

Tiempo más probable (t_m) Tiempo para terminar una actividad que es la mejor estimación consensual, utilizado en PERT.

Tiempo optimista (t_o) Tiempo para completar una actividad si todo sale bien, utilizado en PERT.

Tiempo pesimista (t_p) Tiempo para completar una actividad bajos las peores circunstancias utilizado en PERT.

Actividad predecesora Actividad que debe ocurrir antes de otra actividad.

Holgura Tiempo que se puede retrasar una actividad o grupo de actividades, sin retrasar la finalización del proyecto.

Actividad sucesora Actividad que debe ocurrir después de otra.

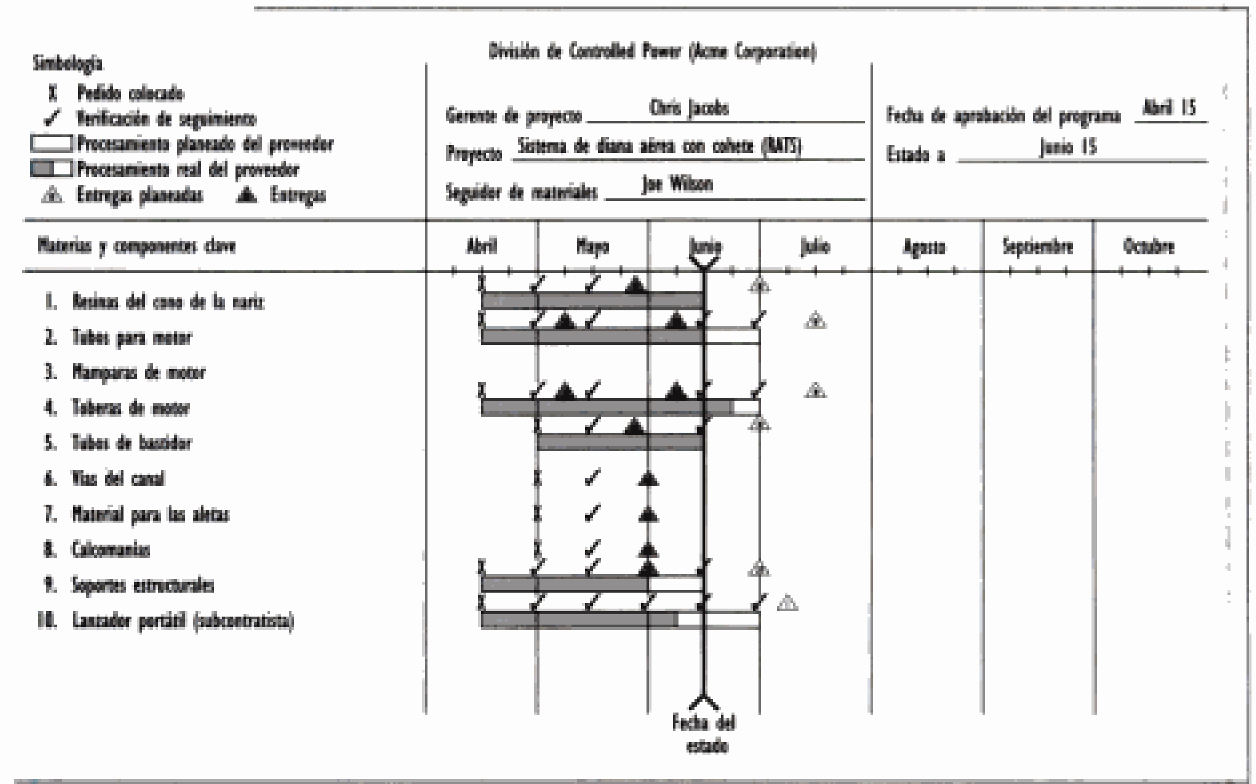
atraso, ya que su barra horizontal sólo está sombreada hasta un punto una semana detrás de la fecha de estado. Similarmente, la actividad k, Costo de mano de obra y gastos generales, tiene aproximadamente un adelanto de siete días.

Estos informes de estado permiten a los gerentes observar el avance de las actividades del proyecto, identificar áreas problema y desarrollar acciones correctivas para poner al proyecto otra vez en dirección al objetivo. Estos informes se pueden utilizar solos o con otras técnicas. Cuando los proyectos no son muy complejos, costosos o muy largos, los diagramas de barras horizontales se pueden utilizar por sí solos para planear y controlar la terminación oportuna del proyecto. Por otra parte, en proyectos más complejos y más costosos, los diagramas pueden emplearse como resumen de un estado del proyecto, aunque además se utilicen otras técnicas más detalladas.

Las ventajas clave de los diagramas de barras horizontales son su facilidad de comprensión, de modificación y su bajo costo. Sus desventajas principales son que, en el caso de proyectos complejos, la cantidad de actividades pudieran requerir diagramas muy grandes o la acumulación de actividades, y estos diagramas pudieran no indicar de manera precisa el grado de interrelación entre actividades del proyecto.

Se utilizan otros diagramas para planear y controlar la adquisición y uso de recursos como el efectivo, el personal y los materiales. La figura 19.5 muestra un ejemplo de un diagrama utilizado para planear y controlar los desembolsos acumulados hasta junio y una proyección de los costos para el resto del proyecto.

FIGURA 19.6 **DIAGRAMA DE MATERIALES: INFORME DE ESTADO DEL PLAN DE ADQUISICIÓN DE MATERIALES CLAVE DEL PROYECTO RATS**



Por lo común, los gerentes buscan en los diagramas la respuesta a estas preguntas:

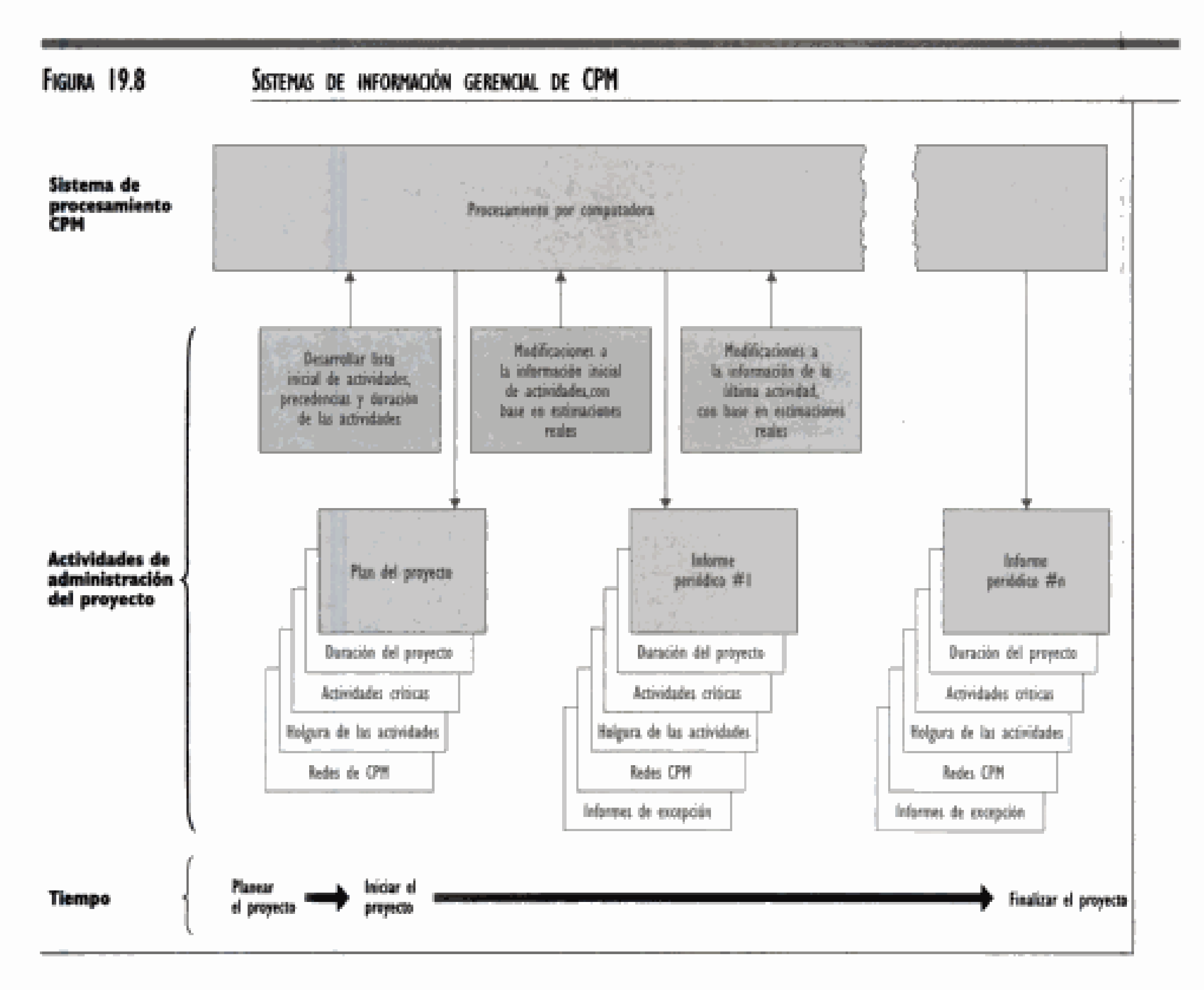
- ¿Estamos dentro de las metas de desembolsos?
- ¿Esperamos alcanzar nuestras metas de desembolsos al final del proyecto?
- Si no esperamos alcanzar nuestras metas de desembolso al final de proyecto, ¿debería la gerencia empezar una acción correctiva para llevar los desembolsos a su meta?

La entrega de materiales, componentes y componentes subcontratados presentan problemas especiales de planeación y control. Primero, la corta duración y la naturaleza única no recurrente de la mayoría de los proyectos descalifican fabricar componentes y partes internamente; por lo tanto, muchos materiales, componentes y piezas se compran a proveedores. Segundo, debido a severas presiones de tiempo, típicamente los proyectos necesitan los materiales "para ayer". Tercero, los materiales para los proyectos pueden ser lo suficientemente distintos a los materiales adquiridos por la empresa que los proveedores normales deben dejarse de lado a favor de proveedores nuevos no probados, pero especializados en estos nuevos materiales.

A pesar de la incertidumbre asociada con la localización de los proveedores y por severas presiones de tiempo, las organizaciones han aprendido a administrar exitosamente la adquisición de materiales, componentes y partes subcontratadas de los proyectos. La figura 19.6 muestra un procedimiento gráfico para planear y controlar la adquisición de materiales para el proyecto RATS. Este diagrama de materiales, conocido como diagrama de hitos, muestra los materiales clave a adquirir para el proyecto. ¿Cuándo deben hacerse los pedidos (x), cuándo debe verificarse el seguimiento (✓), cuándo planea el proveedor procesar el pedido (una barra horizontal hueca), el avance real de procesamiento del proveedor (porción sombreada de la barra horizontal) y las entregas planeadas (△)?

Los diagramas presentados aquí sugieren que se puede aplicar una amplia gama de estas herramientas a muchas situaciones de planeación y control de proyectos. De hecho, probablemente es-

FIGURA 19.8 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GERENCIAL DE CPM



administración del proyecto: nuevas estimaciones de duración del proyecto, nueva lista de actividades críticas, nuevas estimaciones de las actividades e informes de excepción (es decir, nuevas actividades en falla y actividades comprimidas o aceleradas).

Una serie de ejemplos demuestra los mecanismos internos de CPM. La tabla 19.2 enlista los pasos que se siguen en un análisis CPM. Los ejemplos 19.1 a 19.5 ilustran dichos pasos.

TABLA 19.2 PASOS EN EL ANÁLISIS DEL CPM

1. Dibuje una red CPM. Este diagrama esquematiza una vista gráfica de las actividades incluidas en el proyecto y su orden.
2. Proporcione un panorama general de proyecto analizando las rutas o trayectorias a través de la red. Determine la longitud de cada trayectoria (el tiempo requerido para completar cada trayectoria), identifique la ruta o trayectoria crítica (la trayectoria más larga a través de la red, la trayectoria que determina el tiempo requerido para la terminación del proyecto) y determine cuánto tiempo se espera que tome la terminación del proyecto.
3. Calcule la terminación más temprana (EF) de cada una de las actividades.
4. Calcule la terminación más tardía (LF) de cada una de las actividades.
5. Calcule la holgura de cada actividad.
6. Calcule el inicio más temprano (ES) y el inicio más tardío (LS) de cada actividad.

TABLA 19.3 **ACTIVIDADES Y EVENTOS DEL PROYECTO RAMOV**

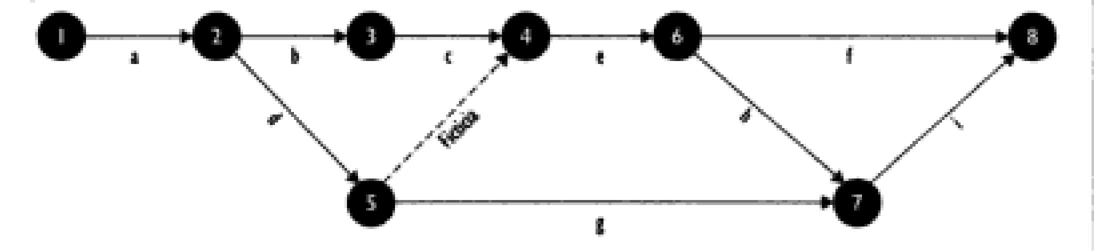
Actividad	Actividad predecesora inmediata	Duración de la actividad (días)
a. Diseñar RAMOV	—	20
b. Construir unidades prototipo	a	10
c. Ejecutar pruebas de los prototipos	b	8
d. Estimar costos de los materiales	a	11
e. Afinar el diseño de RAMOV	c,d	7
f. Demostrar RAMOV al cliente	e	6
g. Estimar costos de mano de obra	d	12
h. Preparar propuesta técnica	e	13
i. Entregar propuesta al cliente	g,h	5

Evento

1. El proyecto se ha iniciado
2. El diseño RAMOV se ha terminado
3. Las unidades prototipo se han construido
4. Las pruebas de prototipo se han terminado
5. Se han completado las estimaciones de costo de materiales
6. La afinación del diseño RAMOV está terminada
7. La propuesta técnica y las estimaciones de costo de mano de obra están terminadas
8. Las unidades RAMOV se han demostrado y se ha entregado la propuesta al cliente. El proyecto se ha terminado.

SOLUCIÓN

1. Primero, vea la figura 19.9, que contiene las reglas convencionales que se siguen en el dibujo de redes CPM.
2. A continuación, empiece con la información de actividades y eventos de la tabla 19.3. Las **actividades** son tareas o trabajos que deben realizarse conforme avanza el proyecto y se representan mediante flechas rectas; los **eventos** son el principio o final de actividades y están representadas por círculos. El proyecto se inicia con el evento 1, mismo que está seguido por la actividad a. El orden de las actividades aparece en las columnas de actividades predecesoras inmediatas de la tabla 19.3, e indica qué actividad o actividades deben estar terminadas antes de que pueda empezarse cada una de ellas. Por ejemplo, la actividad inmediatamente predecesora a la actividad b es la actividad a. Esto significa que la actividad a debe estar terminada antes de que se pueda iniciar la actividad b.
3. Dibuje la red CPM y coloque la letra de cada actividad bajo su flecha:



Note que tanto la actividad c como la actividad d son predecesores inmediatos de la actividad e. Para mostrar que la actividad d debe quedar terminada antes del inicio de la terminal e, se utiliza una actividad falsa. Una **actividad ficticia** no involucra trabajo ni tiempo; simplemente muestra la relación de precedencia, es decir, el orden de las actividades.

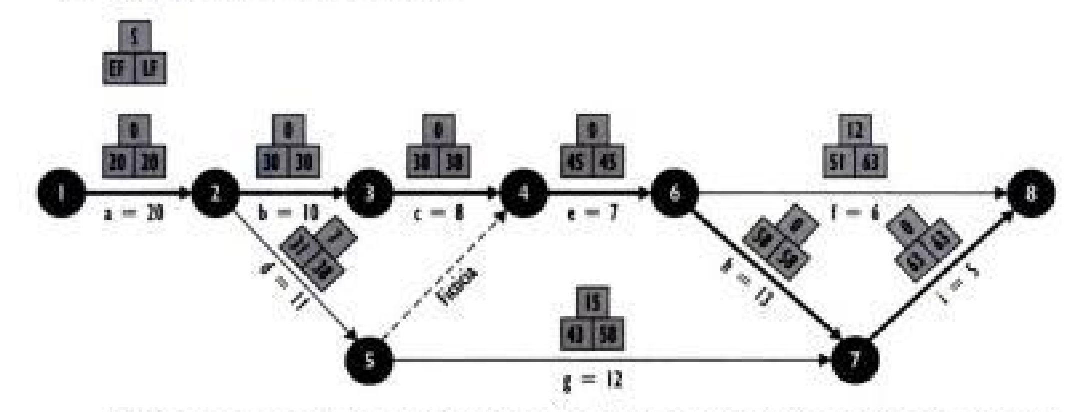
EJEMPLO 19.4

CÁLCULO DE LA TERMINACIÓN MÁS TARDÍA (LF) Y LA HOLGURA (S) PARA LAS ACTIVIDADES DEL PROYECTO RAMOV

En el ejemplo 19.3, mediante una pasada de izquierda a derecha a través de la red, se han calculado las terminaciones más tempranas (EF) de todas las actividades del proyecto. Calculemos ahora la terminación más tardía (LF) y la holgura (S) correspondiente a cada actividad.

SOLUCIÓN

1. Calcule la LF de cada actividad:



Empiece con el evento 8 en el extremo derecho del diagrama y muévase de *derecha a izquierda* a través de la red. Escriba la LF de cada actividad en la parte derecha del recuadro sobre su flecha. *La LF representa el tiempo más tardío transcurrido desde el inicio que podemos utilizar para terminar una actividad. La LF para todas las actividades que terminan en el último evento siempre será la LF más grande del proyecto.* La LF de las actividades f e i es, por lo tanto, de 63 días, que es el mismo de EF_i, la EF más grande de todas las actividades:

$$LF_i = EF_i = 63$$
$$LF_f = EF_i = 63$$

La LF para cualquier otra actividad se calcula restando la duración (T) de las actividades inmediatas sucesoras (la actividad a su derecha inmediata dentro de la red) de la terminación más tardía de la actividad inmediata sucesora (LF). Las terminaciones más tardías de las actividades dentro del proyecto se calculan como sigue:

$$LF_h = LF_i - D_i = 63 - 5 = 58$$
$$LF_g = LF_i - D_i = 63 - 5 = 58$$
$$LF_e = LF_h - D_h = 58 - 13 = 45^*$$
$$LF_d = LF_e - D_e = 45 - 7 = 38^*$$
$$LF_c = LF_e - D_e = 45 - 7 = 38$$
$$LF_b = LF_c - D_c = 38 - 8 = 30$$
$$LF_a = LF_b - D_b = 30 - 10 = 20^*$$

Observe que si una actividad tiene más de una actividad inmediata sucesora (actividades a su inmediata derecha en la red) su LF se calcula comparando los valores de LF–D de todas las actividades sucesoras inmediatas. Se utilizará entonces la ***LF − D de valor más pequeña*** *para su LF.* Por ejemplo, las actividades e, d, y a arriba citadas tienen un asterisco (*) para indicar que tienen más de una actividad sucesora. Tome por ejemplo la actividad e: las actividades f y h suceden a la actividad e. LF_e se calcula entonces como sigue:

$$LF_e = LF_f - D_f = 63 - 6 = 57 \quad \text{o bien} \quad LF_e = LF_h - D_h = 58 - 13 = 45$$

Por lo tanto, $LF_e = 45$.

2. Calcule la holgura (S) correspondiente a cada actividad.
Para cada actividad, S = LF − EF. En cada actividad reste su EF de su LF y escriba el valor de S en la parte superior del recuadro, sobre la flecha. La holgura de todas las actividades en la red se calcula como sigue:

$$S_i = LF_i - EF_i = 63 - 63 = 0^*$$
$$S_h = LF_h - EF_h = 58 - 58 = 0^*$$
$$S_g = LF_g - EF_g = 58 - 43 = 15$$
$$S_f = LF_f - EF_f = 63 - 51 = 12$$
$$S_e = LF_e - EF_e = 45 - 45 = 0^*$$
$$S_d = LF_d - EF_d = 38 - 31 = 7$$
$$S_c = LF_c - EF_c = 38 - 38 = 0^*$$
$$S_b = LF_b - EF_b = 30 - 30 = 0^*$$
$$S_a = LF_a - EF_a = 20 - 20 = 0^*$$

Note que las actividades con asterisco tienen una holgura igual a cero. Estas actividades están sobre la ruta crítica a–b–c–e–h–i, mismas que aparecen identificadas por flechas en negritas a través de la red.

Actividades adyacentes en secciones de trayectoria comparten la holgura. Por ejemplo, considere la trayectoria a–b–g–i, de la red CPM. La actividad d tiene siete días de holgura, la actividad g tiene 15 días de holgura, pero la sumas de las duraciones de las actividades a lo largo de la trayectoria es 48 días. Existe, por lo tanto, un *total* de 63− 48 = 15 días de holgura a lo largo de la trayectoria, por lo que siete días de holgura se comparten entre las actividades d y g.

El ejemplo 19.5 completa el análisis CPM del proyecto RAMOV. Aquí, los valores de EF, LF y S se transfieren de la red del ejemplo 19.4 a la tabla. Utilizando estas fórmulas, se calculan los valores ES y LS de cada actividad, y se introducen en la tabla:

$$ES = EF - D$$
$$LS = LF - D$$

La tabla del ejemplo 19.5 es típica de los resultados de los programas de cómputo CPM. Los valores de holgura (S) de cada actividad indican cuánto se puede retrasar una actividad, sin que se retrase el tiempo de terminación de todo el proyecto. *Las actividades que tienen cero holgura son las* ***actividades en ruta crítica****. Si cualquier actividad dentro de la ruta crítica se retrasa, también se retrasará el tiempo de terminación la misma cantidad de tiempo.*

EJEMPLO 19.5

CÁLCULO DEL INICIO MÁS TEMPRANO (ES) Y DEL INICIO MÁS TARDÍO (LS) PARA LAS ACTIVIDADES DEL PROYECTO RAMOV

De la red del ejemplo 19.4 calcule el inicio más temprano (ES) y el inicio más tardío (LS) correspondiente a cada actividad.

SOLUCIÓN

Obtenga los valores EF, LF y S de cada actividad del ejemplo 19.4 y colóquelos en la tabla que sigue a continuación. Acto seguido, calcule los valores ES y LS de cada una de las actividades utilizando las siguiente fórmulas:

$$ES = EF - D$$
$$LS = LF - D$$

Actividad	Duración de la actividad (D)	Inicio más temprano (ES)	Terminación más temprana (EF)	Inicio más tardío (LS)	Terminación más tardía (LF)	Holgura (S)
a	20	0	20	0	20	0
b	10	20	30	20	30	0
c	8	30	38	30	38	0
d	11	20	31	27	38	7
e	7	38	45	38	45	0
f	6	45	51	57	63	12
g	12	31	43	46	58	15
h	13	45	58	45	58	0
i	5	58	63	58	63	0

Hemos demostrado la forma en que el análisis CPM desarrolla información para la gerencia: duración del proyecto, actividades críticas y holgura de las actividades. Estos cálculos se desarrollan al principio del proyecto y se modifican cuando se tengan nuevas estimaciones, conforme avanza dicho proyecto. La figura 19.8 ilustró la forma en que ocurre esta actualización. Estas actualizaciones resultan en nuevos informes periódicos que se envían a los gerentes de proyecto. Los informes de excepción CPM, los de actividades en falla y los de actividades comprimidas son ejemplos de informes que proporcionan a los gerentes de proyecto información a la fecha sobre detalles del proyecto, permitiendo así un estrecho control de las actividades.

Ahora que hemos estudiado CPM veamos PERT.

TÉCNICA DE EVALUACIÓN Y REVISIÓN DE PROGRAMAS

PERT es prácticamente idéntico a CPM en lo que se refiere a sus funciones, diagramas de red, cálculos internos y los informes resultantes de administración de proyectos. Las excepciones menores giran alrededor de las estimaciones de los tiempos de las actividades.*

En CPM, la duración de una actividad se basa en una simple estimación del tiempo. En PERT, para cada actividad se hacen tres estimaciones de tiempo: el **tiempo pesimista** (**t_p**) si se tiene mala suerte; el **tiempo más probable** (**t_m**) que es la mejor estimación consensual y el **tiempo optimista** (**t_o**) si todo sale bien. De estas tres estimaciones, para cada actividad se calcula una media (t_e) y una varianza (V_t).

$$t_e = (t_o + 4t_m + t_p)/6 \qquad y \qquad V_t = [(t_p - t_o)/6]^2$$

¿Por qué PERT utiliza estimaciones múltiples de tiempos de actividades? Porque hay incertidumbre respecto a la duración de las actividades. Al estimar un tiempo pesimista y uno optimista, se da una gama probable de duraciones. El tiempo más probable es nuestra mejor estimación de la duración. Tres estimaciones de tiempo permiten el desarrollo de una duración promedio y de una varianza para cada una de las trayectorias de la red, definiendo así completamente la distribución de la duración de las trayectorias. La duración media de una trayectoria es igual a la suma de las duraciones medias de sus actividades y la varianza de una trayectoria es igual a la suma de las varianzas de sus actividades. Cuando la distribución de la duración de una trayectoria se supone normal, y se calcularon su media y su varianza, podemos hacer enunciados probabilísticos sobre dicha trayectoria. Por ejemplo: 1) sólo hay una probabilidad de 10% que la ruta crítica resulte superior a 35 semanas, 2) hay una probabilidad de 35% de que el proyecto pueda terminarse en menos de 50 semanas. La capacidad de hacer enunciados probabilísticos sobre la duración de las trayectorias del proyecto es la

* *Nota a los profesores:* para simplificar la presentación, la regla convencional de actividades sobre las flechas (AOA) se utiliza tanto en CPM como en PERT.

única diferencia existente entre CPM y PERT. PERT utiliza t_e para las duraciones de actividad, en tanto que CPM utiliza una sola estimación de tiempo para las duraciones de las actividades; todos los demás cálculos son idénticos en ambos métodos.

El ejemplo 19.6 ilustra la forma en que sería utilizado PERT para analizar el proyecto RAMOV.

EJEMPLO 19.6

ANÁLISIS PERT DEL PROYECTO RAMOV

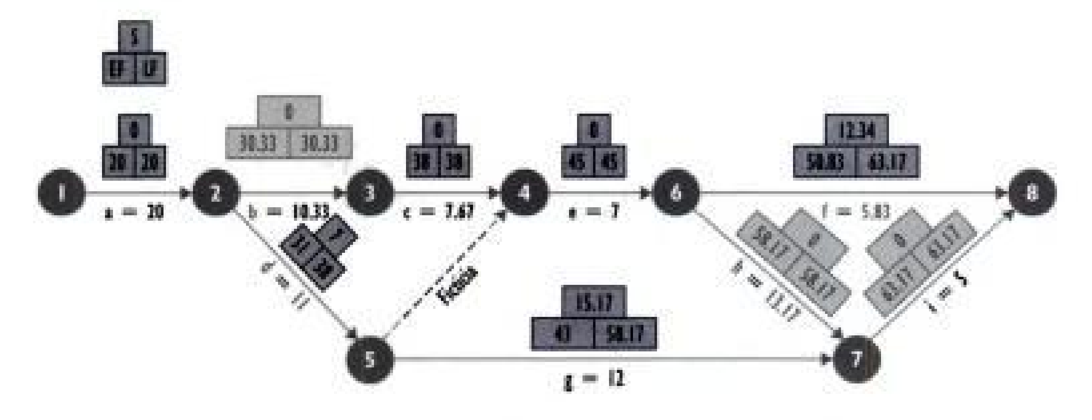
Refiérase a la descripción del proyecto RAMOV del ejemplo 19.1. El cliente pidió al equipo estimar la probabilidad de que el proyecto pueda quedar terminado dentro de 65 días. Para responder, el equipo desarrolló tres estimaciones de duración de cada una de las actividades del proyecto. Desarrolle un análisis PERT del proyecto y responde la pregunta del cliente.

SOLUCIÓN

1. Primero, calcule la media y la varianza de cada actividad:

Actividad	Tiempo optimista (t_o)	Tiempo más probable (t_m)	Tiempo pesimista (t_p)	Duración media $t_e = (t_o + 4t_m + t_p)/6$	Varianza $V_e = [(t_p - t_o)/6]^2$
a	18	20	22	20.00	.44
b	8	10	14	10.33	1.00
c	5	8	9	7.67	.44
d	10	11	12	11.00	.11
e	7	7	7	7.00	0
f	4	6	7	5.83	.25
g	10	12	14	12.00	.44
h	12	13	15	13.17	.25
i	5	5	5	5.00	0

2. Después, dibuje la red PERT y calcule la terminación más temprana (EF), la terminación más tardía (LF), y la holgura (S) correspondiente a cada actividad. Determine la trayectoria o ruta crítica.



Como se puede observar en la red que arriba se muestra, la trayectoria a–b–c–e–h–i es la ruta crítica y se espera que tome 63.17 días.

3. Después, calcule la desviación estándar de la ruta crítica:

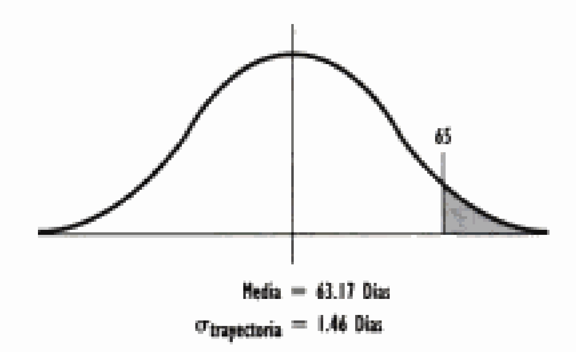
Sume las varianzas de las actividades a lo largo de la ruta crítica a–b–c–e–h–i:

$$V_{path} = V_a + V_b + V_c + V_e + V_h + V_i = 0.44 + 1.0 + 0.44 + 0 + 0.25 + 0 = 2.13$$

$$\sigma_{path} = \sqrt{\text{Varianza de la trayectoria a–b–c–e–h–i}} = \sqrt{2.13} = 1.46 \text{ Días}$$

4. Después, calcule la probabilidad de terminar el proyecto dentro de 65 días:

Suponiendo que la distribución del tiempo de terminación de la trayectoria a–b–c–e–h–i es normal, con una media de 63.17 días y una desviación estándar de 1.46 días:



Encuentre a cuántas desviaciones estándar de la media está 65 días:

$$Z = \frac{65 - 63.17}{\sigma_{trayectoria}} = \frac{65 - 63.17}{1.46} = 1.25$$

En el apéndice A, al final de este libro, localice Z = 1.25 en el margen izquierdo de la tabla. La probabilidad de que el proyecto se termine en menos de 65 días es de 0.89435 (aproximadamente 89.4%) pero esa es la buena noticia. La mala noticia es que existe una probabilidad de 0.10565 (aproximadamente 10.6%) de que el proyecto tarde más de 65 días.

En el análisis PERT debemos tener cierto cuidado al interpretar el significado de una crítica. La ruta crítica en un análisis PERT es simplemente la trayectoria que tiene la duración esperada más larga. La ruta crítica del ejemplo 19.6 fue la trayectoria a–b–c–e–h–i, que tenía una duración esperada de 63.17 días, y existe una probabilidad de 10.6% que esta trayectoria pudiera tomar más de 65 días. En la red RAMOV puede haber una o más trayectorias que tengan duraciones esperadas más pequeñas, pero sujetas a gran incertidumbre. Estas *trayectorias no críticas* pueden tener, de hecho, una mayor probabilidad en requerir más de 65 días para su terminación que la trayectoria a–b–c–e–h–i. En estos casos, la varianza de la ruta crítica disminuye la importancia de la varianza real de la duración del proyecto. El significado en este punto es que cuando se utiliza PERT al determinar la probabilidad de exceder alguna fecha particular de terminación del proyecto, los analistas deben poner atención a la ruta crítica y a otras rutas o trayectorias con duraciones esperadas cercanas a la crítica. El ejemplo 19.7 ilustra esta idea.

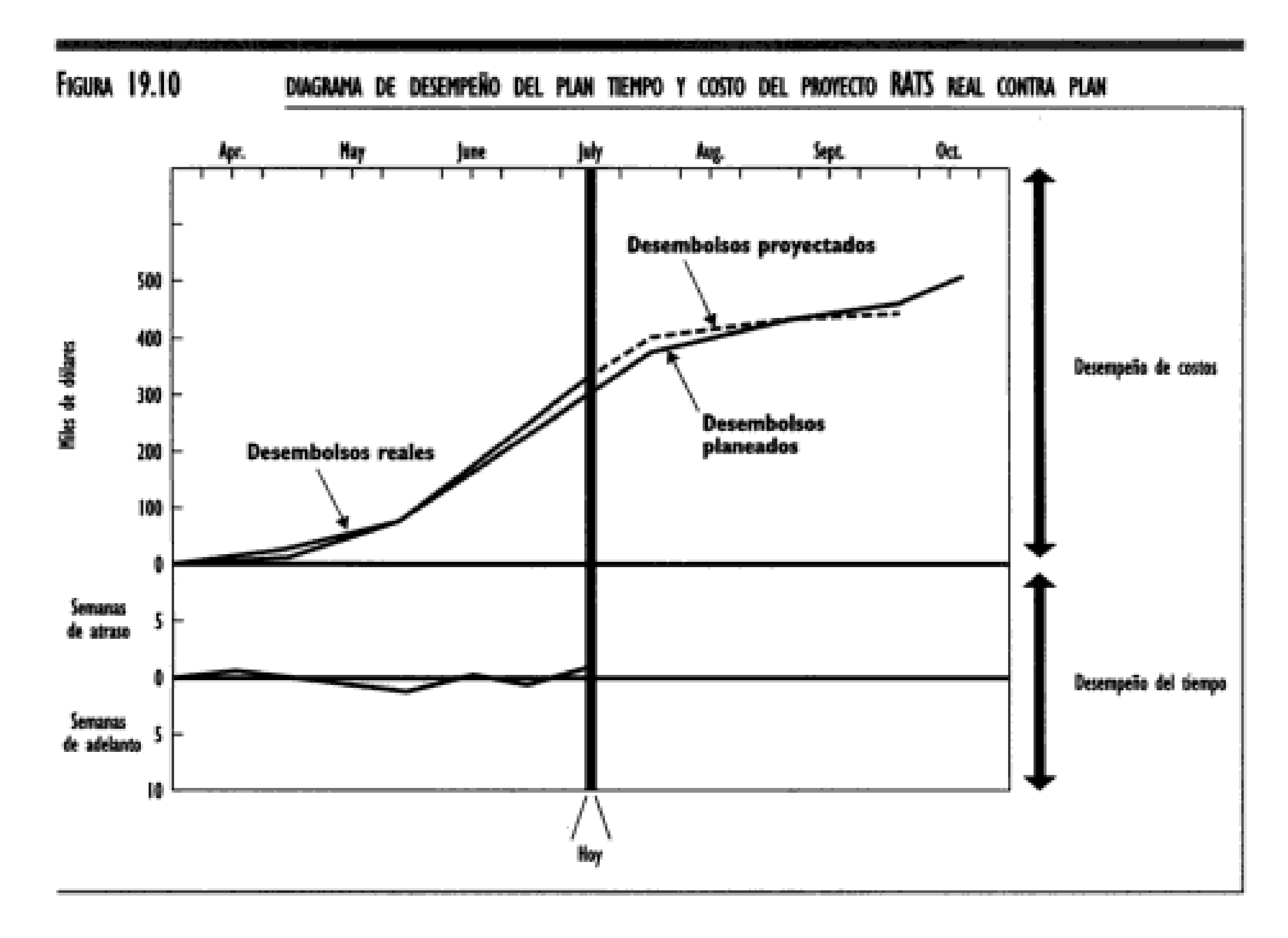
EJEMPLO 19.7

UNA MIRADA MÁS CERCANA A LAS RUTAS CRÍTICAS DE PERT

Dadas estas dos trayectorias PERT, ¿cuál es la que ofrece la mayor probabilidad de exceder una meta de 20 semanas de duración del proyecto (T)?

Trayectoria 1: Σt_e = 19.34 semanas, σ_t = 0.780 semanas (ruta crítica)
Trayectoria 2: Σt_e = 19.17 semanas, σ_t = 1.170 semanas (ruta no crítica)

FIGURA 19.10 DIAGRAMA DE DESEMPEÑO DEL PLAN TIEMPO Y COSTO DEL PROYECTO RATS REAL CONTRA PLAN



CPM/PERT EN LA PRÁCTICA

CPM/PERT se utiliza ampliamente en gran diversidad de organizaciones, pero tiende a emplearse en una gama estrecha de aplicaciones. La planeación y control de los proyectos domina las demás aplicaciones, en tanto que la planeación y control de la producción, y la planeación y control del mantenimiento representan los demás usos de PERT/CPM.

Holgura meta en comparación con holgura de proyecto El ejemplo 19.4, el proyecto RAMOV, calcula la holgura de cada actividad: el tiempo que una actividad se puede atrasar sin causar retraso en la finalización de todo el proyecto. La holgura se basa en la duración de la ruta crítica, que es de 63 días. Si las necesidades del cliente fueran de 65 días, aún si alguna actividad crítica se retrasara dos días, todavía se cumplirían las necesidades del cliente. En realidad, cada una de las actividades tiene dos días adicionales de holgura, si el estándar es la necesidad del cliente. Algunas organizaciones agregan este periodo adicional a la holgura de proyecto de cada actividad, por lo que la holgura de la actividad se basa en la duración meta del proyecto, más que en la duración de la ruta crítica.

Intercambios costo y tiempo de una actividad Ocasionalmente los gerentes de proyecto pueden tener la opción de acelerar actividades al desembolsar dinero adicional para comprimir la duración de una actividad mediante el uso de tiempo extra, subcontratación, seguimiento de materiales, etc. Si los proyectos están corriendo el riesgo de exceder la duración permisible del proyecto, a menudo los gerentes consideran la aceleración como una alternativa viable.

Dado que los gerentes tienen varias actividades en el proyecto que se pueden acelerar, ¿cómo decide qué actividades no acelerar, cuáles acelerar, si es que hubiera alguna, y en qué orden? Las reglas generales son:

1. Acelere únicamente actividades críticas: actividades sobre la ruta crítica, o sea, aquellas actividades que tengan holgura cero.
2. Acelere primero actividades que tengan el costo de aceleración más bajo por unidad de tiempo, hasta lograr la duración deseada del proyecto.
3. Cuando hay rutas críticas paralelas, debe comprimirse cada una de las trayectorias en paralelo; la aceleración de una de ellas no reducirá la duración del proyecto.

El ejemplo 19.8 ilustra la aplicación de estos principios en el proyecto RAMOV.

EJEMPLO 19.8

INTERCAMBIO COSTO Y TIEMPO EN EL PROYECTO RAMOV

El cliente MIT de los ejemplos 19.1 a 19.5 desea reducir el tiempo de terminación del proyecto RAMOV. Éste ha indicado su deseo de analizar el pago de cualquier costo adicional de MTI para lograr la reducción en la duración del proyecto. El equipo del proyecto RAMOV sabe que debe utilizar el tiempo extraordinario y otros medios para acelerar algunas de las actividades. El equipo del proyecto RAMOV ha preparado intercambios de costo y tiempo, al considerar los puntos siguientes:

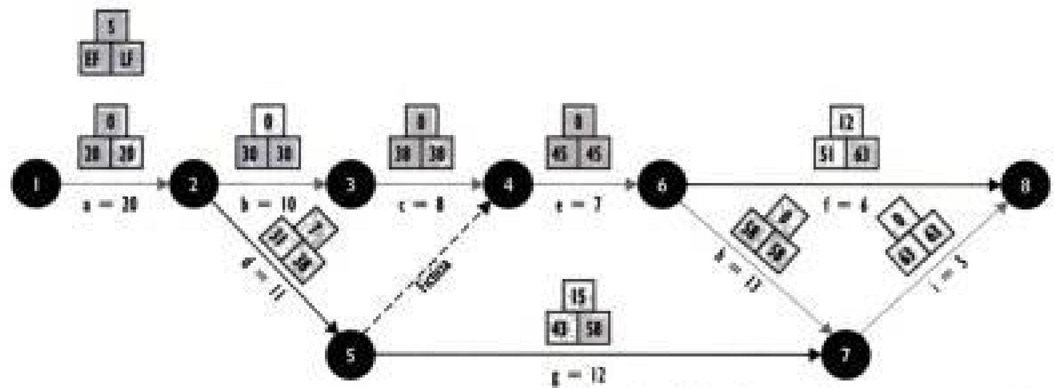
Actividad	Duración actual (días)	Duración acelerada (días)	Costo actual	Costo acelerado
a	20	18	$10,000	$14,000
b	10	5	12,000	16,500
c	8	3	6,000	11,000
d	11	9	4,000	5,600
e	7*	—	—	—
f	6*	—	—	—
g	12	9	9,000	11,000
h	13	12	12,000	13,500
i	5*	—	—	—

*No es posible acelerar estas actividades.

Si la meta es reducir el tiempo de finalización del proyecto tanto como sea posible, ¿en qué orden y cuánto aceleraría usted las actividades del proyecto RAMOV? ¿Cuál sería el costo de acelerarlos?

SOLUCIÓN

1. Primero, desarrolle una red CPM para el proyecto, sin acelerar ninguna de las actividades. Esta red CPM se desarrolló en el ejemplo 19.4.



2. Calcule el costo diario de acelerar cada actividad que pueda acelerarse:

(1) Actividad	(2) Máxima cantidad de aceleración (días)	(3) Costo adicional de la aceleración	(4) Costo de aceleración por día [dólares/día = (3)/(2)]
a	2	$4,000	$2,000
b	5	4,500	900
c	5	5,000	1,000
d	2	1,600	800
g	3	2,000	667
h	1	1,500	1,500

3. Después, desarrolle los pasos para la aceleración del proyecto. Suponemos que la duración actual de una actividad se puede acelerar parcialmente en cualquier cantidad de días, pero no puede quedar debajo de su "duración acelerada" mínima. También, hacemos el supuesto de que el costo diario de la aceleración que se calculó arriba se aplica a cada día adicional en que se acelera una actividad. (En la práctica, algunas actividades pudieran tener un costo creciente para cada día adicional que se aceleran.)

El proceso de aceleración sigue estos pasos:

Paso 1. Identifique las trayectorias o caminos críticos actuales.

Paso 2. Identifique todas las posibles combinaciones de actividades sobre las rutas críticas que podrían acelerarse un día y que resultara que la duración del proyecto se redujera un día. De no haber alternativas, entonces el proyecto ya se ha acelerado todo lo posible.

Paso 3. Calcule el costo de cada actividad alternativa o juego de actividades alternativas.

Paso 4. Seleccione la alternativa de costo menor y acelere la actividad o las actividades en un día. Lleve el control de la duración actual de cada actividad dentro del proyecto.

Paso 5. Regrese al paso 1 y repita todos los pasos.

La tabla que se da a continuación resume las iteraciones del proceso de aceleración del proyecto.

Iteración	Rutas críticas actuales	Duración del proyecto (días)	Actividades a acelerar un día	Costo adicional de aceleración	Nuevas rutas críticas	Nueva duración del proyecto (días)
1	a-b-c-e-h-i	63	b	$ 900	a-b-c-e-h-i	62
2	a-b-c-e-h-i	62	b	900	a-b-c-e-h-i	61
3	a-b-c-e-h-i	61	b	900	a-b-c-e-h-i	60
4	a-b-c-e-h-i	60	b	900	a-b-c-e-h-i	59
5	a-b-c-e-h-i	59	b	900	a-b-c-e-h-i	58
6	a-b-c-e-h-i	58	c	1,000	a-b-c-e-h-i	57
7	a-b-c-e-h-i	57	c	1,000	a-b-c-e-h-i; a-d-e-h-i	56
8	a-b-c-e-h-i; a-d-e-h-i	56	h	1,500	a-b-c-e-h-i; a-d-e-h-i	55
9	a-b-c-e-h-i; a-d-e-h-i	55	c,d	1,800	a-b-c-e-h-i; a-d-e-h-i	54
10	a-b-c-e-h-i; a-d-e-h-i	54	c,d	1,800	a-b-c-e-h-i; a-d-e-h-i	53
11	a-b-c-e-h-i; a-d-e-h-i	53	a	2,000	a-b-c-e-h-i; a-d-e-h-i	52
12	a-b-c-e-h-i; a-d-e-h-i	52	a	2,000	a-b-c-e-h-i; a-d-e-h-i	51*

*Todas las actividades de la ruta crítica a–d–e–h–i se han acelerado a su duración acelerada mínima, por lo que el proyecto se ha acelerado tanto como es posible.

Paso 4: La actividad h es la alternativa de menor costo, por lo que se selecciona y su duración se acelera de 13 a 12 días, a un costo adicional de 1,500 dólares. Esto nos da una nueva duración del proyecto de 55 días. La actividad h ahora está en su duración acelerada mínima.

Iteración 9

Paso 1: Las rutas críticas actuales son: a–b–c–e–h–i y a–d–e–h–i.

Paso 2 y 3: Las actividades o combinaciones de actividades alternativas que podían acelerarse un día y que resultaran en que ambas rutas críticas fueran un día más cortos son:

Actividad	Costo adicional de la aceleración
a	$2,000
c y d	1,800

Paso 4: Las actividades c y d juntas son la alternativa de menor costo, por lo que se seleccionan y sus duraciones se aceleran un día a un costo adicional de 1,800 dólares. Esto da como resultado una nueva duración del proyecto de 54 días.

Iteración 10

Las actividades c y d también se seleccionan en la iteración 10. La actividad d ahora está en su duración acelerada mínima, pero no la actividad c.

Iteraciones 11 y 12

Paso 1: Las rutas críticas actuales son a–b–c–e–h–i, y a–d–e–h–i.

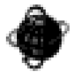
Paso 2 y 3: La actividad a es la única alternativa que resulta en una reducción de ambos caminos críticos. Aunque la actividad c podría todavía acelerarse un día, al hacerlo no se reduciría la ruta crítica a–d–e–h–i.

Después de la iteración 12, la actividad a está en su duración acelerada mínima. También, todas las actividades de la ruta crítica a–b–e–h–i, se han reducido a su duración acelerada mínima, por lo que el proyecto se ha acelerado tanto como es posible. La duración resultante mínima de proyecto es de 51 días y el costo total adicional para acelerar el efecto de 63 a 53 días es la suma del costo de aceleración adicional de cada una de las iteraciones, es decir 15,600 dólares.

SOFTWARE PARA LA ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS

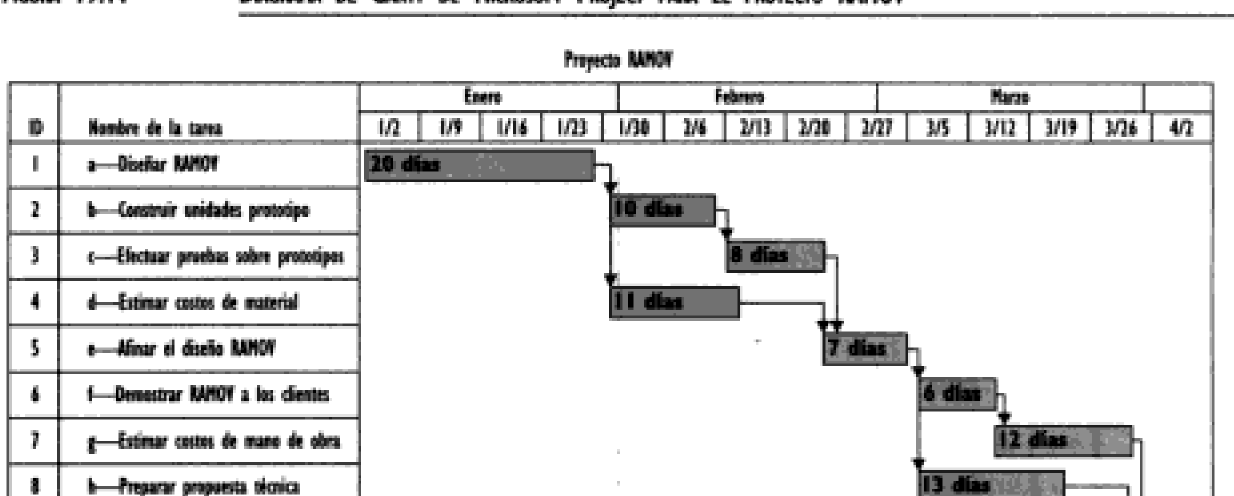
La mayoría de las aplicaciones de la administración de proyectos utilizan ampliamente las computadoras. Aunque nuestros cálculos PERT/CPM de este capítulo se han realizado manualmente, estas aplicaciones prácticamente nunca se calculan sin computadora.

POM Computer Library tiene programas de cómputo tanto CPM como PERT. El usuario introduce las estimaciones de tiempo de las actividades y la información de precedencias y los programas producen la holgura para cada actividad, la duración y varianza de las rutas críticas y otra información útil de administración de los proyectos. Project Management Institute (**www.pmi.org**) mantiene una lista completa de productos de software para administración de proyectos y sus proveedores. Algunos paquetes de software son:



- *Microsoft Project*, Microsoft Corp.
- *MacProject*, Claris Corp.

FIGURA 19.11 DIAGRAMA DE GANTT DE MICROSOFT PROJECT PARA EL PROYECTO RAMOV



- *Pert Chart Expert*, Jim Spiller & Associates
- *PowerProject*, ASTA Development Inc.
- *Primavera Project, Planner (P3) for Windows*, Primavera
- *Project Scheduler*, Scitor Corp.
- *Project Workbench*, ABT Corp.
- *SuperProject*, Computer Associates International Inc.
- *TurboProject*, IMSI
- *VX-1 Project Management Simulator*, Virtual Experience Corp.

La figura 19.11 muestra una gráfica de Gantt del proyecto RAMOV generado con Microsoft Project. La fecha de inicio especificada para el proyecto era el lunes 3 de enero de 2000, y suponía una semana de cinco días de trabajo. El espacio vacío entre dos días entre la actividad a y la actividad b representa un sábado y un domingo (dos días no laborales).

La administración de proyectos es una actividad que se realiza en muchas organizaciones y los proveedores de software están ofreciendo un abanico cada vez más amplio de paquetes para estas aplicaciones.

UNA EVALUACIÓN DE CPM/PERT

Conforme crece el uso de CPM y PERT, han aparecido algunas críticas a estas técnicas, como:

1. CPM/PERT supone que las actividades de proyecto son independientes. En la práctica, sabemos que, en ciertas circunstancias, la duración de una actividad depende de las dificultades que se hayan encontrado en el desempeño de otras actividades. En esos casos, la duración de una actividad depende de la duración de otra u otras actividades.
2. CPM/PERT supone que existen puntos de ruptura precisos, en los cuales se termina una actividad y se inicia la siguiente. En la práctica, una actividad puede iniciarse antes de haber terminado la anterior, siempre que se haya ejecutado parte del trabajo preparatorio.
3. CPM/PERT se enfoca demasiado a actividades en la ruta crítica. En la práctica, una actividad que no esté en la ruta crítica al principio del proyecto puede encontrar dificultades y retrasos. Esta actividad pudiera no recibir la atención que merece, hasta que se

presenta en la ruta crítica. Llegado ese momento, pudiera ser demasiado tarde para hacer correcciones y evitar el retraso del proyecto.

4. Las estimaciones del tiempo de las actividades pueden reflejar aspectos conductuales que pueden disminuir la utilidad de CPM/PERT. Por ejemplo, el personal que suministra las estimaciones de tiempo de las actividades, al ser demasiado optimista o dedicarse a lo que se conoce como estimaciones "color de rosa" pueden proporcionar tiempos de actividad demasiado breves. Por otra parte, quizás estén protegiéndose, es decir, desarrollando tiempos de actividad demasiados largos, dándose a sí mismos un colchón o factor de error.
5. A menudo, PERT ha sido criticado porque: a) Podría ser poco realista esperar obtener tres estimaciones de tiempo precisas del personal. b) Pudiera ser demasiado esperar que el personal comprendiera sus bases estadísticas. c) Se ha demostrado que los supuestos de PERT relacionados con la distribución de la probabilidad de las actividades y de las trayectorias causan errores en los resultados de PERT. d) El costo adicional de PERT sobre CPM no se justifica por el valor de la información adicional que se ha obtenido.
6. CPM/PERT se aplica a demasiados proyectos, herencia del gobierno y de la industria aerospacial. En muchas de estas aplicaciones, no se puede justificar el costo de CPM/PERT en función a la información proporcionada, cuando se compara con otras técnicas de administración de proyectos como los diagramas de proyecto.

A pesar de estas críticas, CPM/PERT forma una familia de técnicas utilizadas ampliamente en las organizaciones modernas. Estas técnicas ayudan a los gerentes de operaciones a estructurar proyectos, para que se comprenda qué actividades deben realizarse y cuándo: para identificar acciones correctivas y asignar responsables de las actividades, para controlar los costos y para planear y controlar el desempeño en el tiempo. En conclusión, funcionan a pesar de sus desventajas y son útiles para los gerentes de operaciones, razón por la cual se emplean tanto. El hecho de que estén disponibles tantos paquetes de software de bajo costo CPM/PERT también apoya su uso continuo.

RECOPILACIÓN

LO QUE HACEN LOS PRODUCTORES DE CLASE MUNDIAL

Los productores de clase mundial se posicionan para capitalizar oportunidades de negocios mundiales. Desarrollan formas de organización lo suficientemente flexibles para producir sus productos y servicios para los mercados mundiales, pero al mismo tiempo, para tener la capacidad de responder eficientemente a oportunidades de negocios. Las formas convencionales de organizaciones que se basan únicamente en departamentos funcionales no han probado tener flexibilidad suficiente para explotar con rapidez las oportunidades que se desarrollan. Entre estas nuevas formas es importante la organización por proyectos. Los equipos de proyectos se forman a partir de personal de departamentos funcionales para administrar y coordinar las actividades de los proyectos. El mejor personal se saca de los departamentos y se asigna a proyectos, de manera que los conocimientos necesarios se ponen a funcionar en oportunidades de negocios de rápido desarrollo. Los productores de clase mundial seleccionan, emplean o capacitan al personal para que sea lo suficientemente flexible para pasar de un departamento a otro y de un proyecto a otro, según se requiera. La flexibilidad es clave para ser productor de clase mundial y los equipos de proyectos en una organización de proyectos proporcionan parte de esta flexibilidad.

La introducción de nuevos productos, los proyectos de desarrollo de nuevos productos, los proyectos de construcción, los análisis de nuevas asociaciones de inversión, los proyectos de implementación de sistemas de comunicación y de información, los proyectos especializados de educación y capacitación, los estudios de ubicación de instalaciones, los proyectos de automatización de plantas, los proyectos de implementación de programas justo a tiempo, los programas de mejora de proveedores, los proyectos de mejora de calidad, y los programas de reducción de costos, son ejemplos de proyectos que deben administrar los productores de clase mundial, y mientras más de "clase mundial" sea un productor, más intensa será la necesidad de administrar este tipo de proyectos. La lucha continua para ser el mejor crea la necesidad de este tipo de proyectos.

La necesidad de planeación y control efectivos del tiempo y costo ha motivado a los productores de clase mundial

PROBLEMAS

Diagramas de programación y control

1. De la figura 19.12 describa completamente el estado al 1 de marzo del proyecto de desarrollo del nuevo producto de Stratophonic.
2. De la figura 19.13 describa completamente el estado de desembolsos al 1 de marzo del proyecto de desarrollo del nuevo producto de Stratophonic.

FIGURA 19.12 PROGRAMA DEL PROYECTO: PROYECTO DE DESARROLLO DEL NUEVO PRODUCTO: STRATOPHONIC SOUND.

Programa del proyecto: Stratophonic Sound.

Proyecto: Nuevo amplificador de baja frecuencia

Fecha de aprobación programada: 1 de mayo

Actividades del proyecto — Junio, Julio, Agosto, Sept., Octubre, Noviembre, Diciembre, Enero, Febrero, Marzo, Abril, Mayo, Junio, Julio

a. Encuesta de mercado
b. Diseño preliminar (a)
c. Diseño de prototipo (b)
d. Pruebas de laboratorio (c)
e. Rediseño de prototipo (d)
f. Pruebas de campo (e)
g. Diseños de producción (f)
h. Prueba final (g)

Hoy

FIGURA 19.13 DIAGRAMAS DE DESEMBOLSOS: PROYECTO DE DESARROLLO DEL NUEVO PRODUCTO: STRATOPHONIC SOUND.

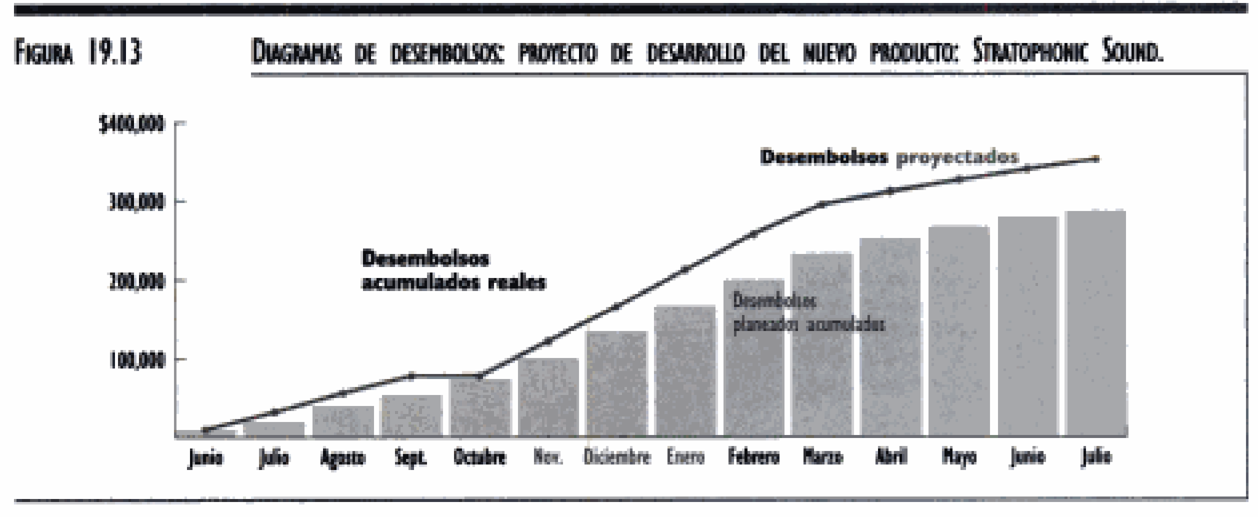
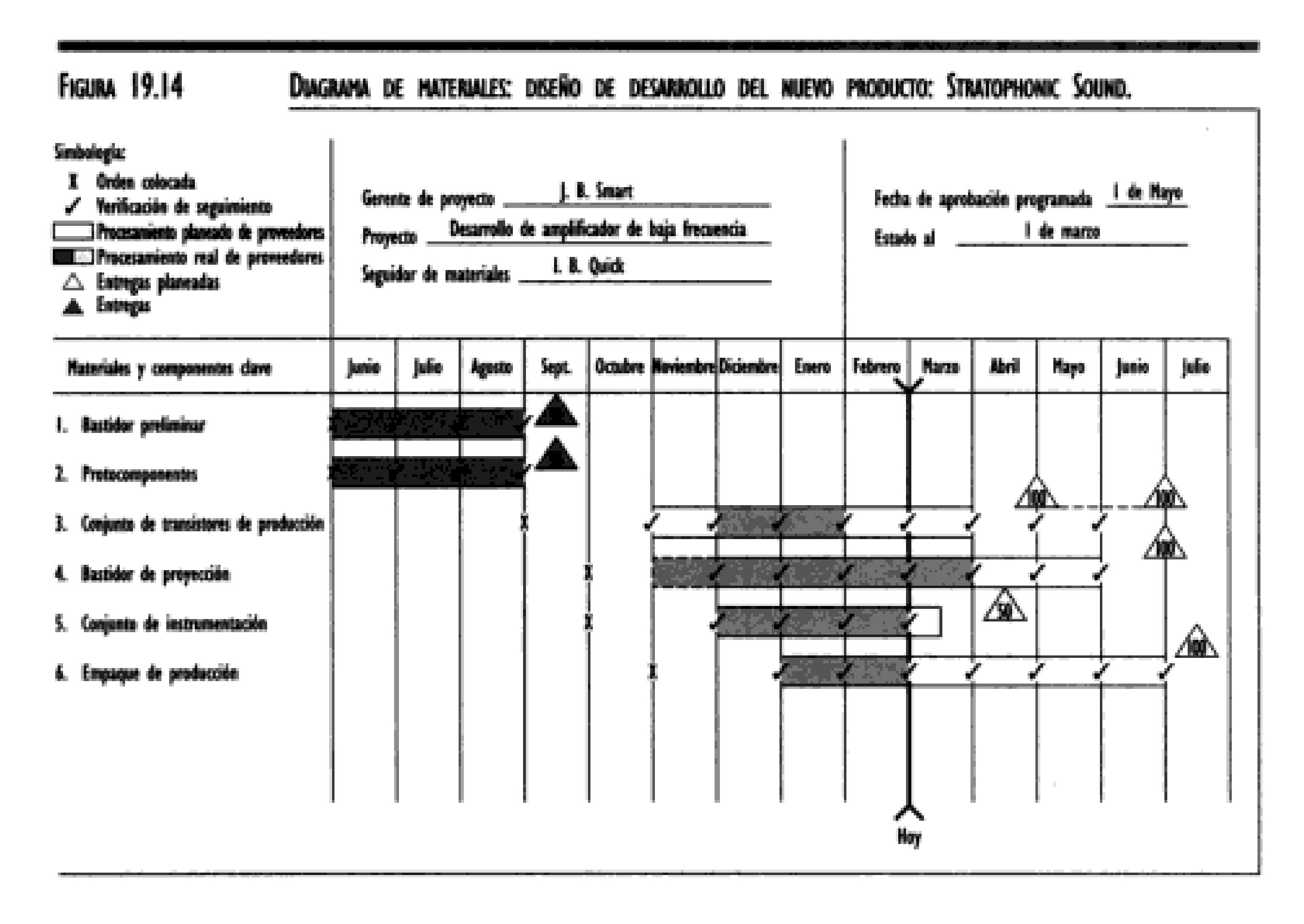


FIGURA 19.14 **DIAGRAMA DE MATERIALES: DISEÑO DE DESARROLLO DEL NUEVO PRODUCTO: STRATOPHONIC SOUND.**



3. De la figura 19.14 describa completamente el estado de las entregas al 1 de marzo de materiales clave del proyecto de desarrollo del producto de Stratophonic.

4. Buildrite Construction Company está desarrollando planes para construir un nuevo edificio médico en el centro de Denver, Colorado. Buildrite ha establecido estas actividades de proyecto, las relaciones de precedencia y sus duraciones y actividades estimadas:

Actividad	Relación de precedencia (actividades predecesoras inmediatas)	Duración estimada de la actividad (semanas)
a. Demolición de estructuras actuales	—	4
b. Excavación y relleno del sitio	a	5
c. Formación y colado de zapatas e instrumentación	b	5
d. Construcción del esqueleto de acero estructural	c	6
e. Construcción de la estructura de concreto	d	8
f. Construcción del recubrimiento exterior	e	12
g. Instalación del sistema de plomería	e	5
h. Instalación del sistema eléctrico	e	3
i. Instalación del sistema de calefacción y enfriamiento	e	4
j. Construcción de los muros divisorios de interiores	g,h,i	3
k. Instalación de luminarias y acabados	j	5

Prepare un diagrama de barras horizontales para planear programas de este proyecto de construcción, si el trabajo tiene que empezar el 1 de enero.

5. Linda Varadahn, gerente de publicaciones de Lansing Oil Company, necesita planear y administrar la publicación del siguiente informe anual de la empresa. La señora Varadahn ha preparado la siguiente lista de actividades necesarias, sus relaciones de precedencia y sus duraciones de tiempo estimadas.

Actividad	Actividades predecesoras inmediatas	Duración estimada de la actividad (semanas)
a. Recolectar información financiera	—	3
b. Desarrollar esbozo	—	2
c. Obtener carta del presidente de Lansing	—	4
d. Escribir borrador del texto	b	3
e. Recolectar trabajo artístico	b	2
f. Combinar componentes en un borrador de informe	c,d,e	1
g. Obtener retroalimentación de los ejecutivos	f	2
h. Diseñar la portada	f	1
i. Enviar el informe final a la impresora	g,h	2

Prepare un diagrama de Gantt (diagrama de barras horizontales) para planear el programa de este proyecto.

CPM

6. Un proyecto tiene las siguientes actividades, relaciones de precedencia y duración de actividades:

Actividad	Actividades predecesoras inmediatas	Duración de la actividad (días)	Actividad	Actividades predecesoras inmediatas	Duración de la actividad (días)
a	—	6	f	a	15
b	—	8	g	a	17
c	—	5	h	f	9
d	b	13	i	g	6
e	c	9	j	d,e	12

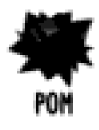
a. Dibuje una red CPM para el proyecto
b. Dé un panorama general del proyecto calculando la duración de cada trayectoria.
c. ¿Cuál es la ruta crítica? ¿Cuál es la duración estimada del proyecto?

7. Un proyecto tiene las siguientes actividades, relaciones de precedencia y duraciones de actividades.

Actividad	Actividades predecesoras inmediatas	Duración de la actividad (días)	Actividad	Actividades predecesoras inmediatas	Duración de la actividad (días)
a	—	7	e	b	19
b	—	10	f	a	21
c	a	14	g	c,d	14
d	b	12	h	f,g,e	8

a. Dibuje una red CPM par el proyecto.
b. Dé un panorama general del proyecto, calculando la duración de cada trayectoria.
c. ¿Cuál es la ruta crítica? ¿Cuál es la duración estimada del proyecto?

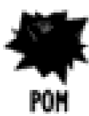
8. En el problema 7:
a. Dibuje una red CPM para el proyecto.
b. Calcule la EF, LF, y holgura de cada actividad. Escriba los valores sobre la red CPM.
c. ¿Cuál es la ruta crítica y su duración?



9. Una empresa está a punto de iniciar un proyecto para diseñar un proceso de producción para la elaboración de un nuevo producto. La administración ha estimado que el proyecto requiere aproximadamente 45 días en terminarse. Aunque al principio 45 días parecían muy poco tiempo para los ingenieros de proceso, después de un análisis se llegó a la conclusión de que probablemente se podría cumplir este plazo porque los productos y sus procesos eran tan similares a las tecnologías actuales de procesamiento en uso dentro de la planta. Estas actividades, sus relaciones de precedencia y sus duraciones fueron estimados por los ingenieros:

Actividades	Duración de la actividad (días)	Actividades predecesoras inmediatas
a. Estudio inicial del diseño de producto	12	—
b. Estudio preliminar de las tecnologías del proceso	10	—
c. Encuesta de capacidad de proveedores	8	—
d. Verificación de las instalaciones para el rediseño del producto	14	b
e. Rediseño intermedio de las instalaciones	6	c
f. Rediseño intermedio del producto	18	b,a
g. Diseño de la maquinaria específica para el proceso	11	d,e
h. Participación e integración de proveedores	21	c
i. Diseño final de las instalaciones, los productos y del proceso	7	f,g

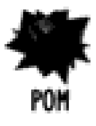
a. Elabore una red CPM para el proyecto del diseño.
b. Calcule la EF, LF, y la holgura de cada actividad. Escriba los valores sobre la red CPM.
c. Calcule la ES y LS de todas las actividades. Escriba en una tabla los valores de ES, EF, LS, LF y holgura.
d. ¿Cuál es la ruta crítica? ¿Cuál es la duración estimada del proyecto?



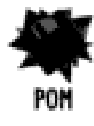
10. Un proyecto tiene las siguientes actividades, relaciones de precedencia y duraciones de actividad:

Actividad	Actividades predecesoras inmediatas	Duración de la actividad (días)	Actividad	Actividades predecesoras inmediatas	Duración de la actividad (días)
a	—	7	f	c	14
b	a	9	g	d	16
c	a	6	h	c,b	16
d	a	12	i	h	12
e	b,c	11	j	e,f,g	18

a. Elabore una red CPM para el proyecto.
b. Calcule la EF, LF, y la holgura de cada actividad. Escriba los valores en una red CPM.
c. Calcule la ES y LS de todas las actividades. Despliegue en una tabla la ES, EF, LS, LF, y la holgura.
d. ¿Cuál es la ruta crítica y cuál es su duración?



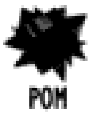
11. Un grupo de ingeniería de planta es responsable del establecimiento de la línea de ensamble para manufacturar un nuevo producto. El grupo de ingeniería de procesos ya diseñó los procesos de producción, y los proveedores ya entregaron la maquinaria en la planta. Dado que las instalaciones se rediseñaron para hacer lugar a la línea de ensamble y dado que la maquinaria ya está en su sitio, la línea de ensamble debe estar lista para una corrida en vacío dentro de un mes. El grupo de ingeniería de planta identificó las siguientes actividades, determinó sus relaciones de precedencia y estimó sus duraciones:



16. Un proyecto tiene las siguientes actividades, relaciones de precedencias y estimaciones de tiempo en días:

Actividad	Actividades predecesoras inmediatas	Tiempo optimista (t_o)	Tiempo más probable (t_m)	Tiempo pesimista (t_p)
a	—	12	13	14
b	a	6	9	11
c	a	9	11	13
d	b	14	16	17
e	c	5	5	5
f	c	5	7	8
g	c	8	12	14
h	d,e	13	15	17
i	g	7	9	11
j	h,f,i	14	16	17

a. Calcule la duración (tiempo esperado) y las varianzas de cada actividad.
b. Dibuje una red PERT.
c. Calcule la EF, LF, y holgura de cada actividad. Escriba los valores en la red PERT.
d. Calcule los valores ES y LS de todas las actividades. Despliegue los valores de ES, EF, LF y holgura en una tabla.
e. ¿Cuál es su ruta crítica?
f. ¿Cuál es la probabilidad de que el proyecto dure más de 70 días?



17. En el problema 9, se preguntó al equipo de diseño cuánta confianza tenían en terminar el proyecto en 45 días. Para responder a esta pregunta, se determinaron las siguientes duraciones de tiempo estimadas en días para el proyecto.

Actividad	Actividades predecesoras	Tiempo optimista (t_o)	Tiempo más probable (t_m)	Tiempo pesimista (t_p)
a	—	10	12	14
b	—	10	10	10
c	—	6	8	10
d	b	11	14	16
e	c	5	6	8
f	a,b	14	18	22
g	d,e	10	11	13
h	c	18	21	24
i	f,g	5	7	9

a. Calcule la duración (tiempo esperado) y la varianza para cada actividad.
b. Construya una red PERT del proyecto.
c. Calcule la EF, LF y la holgura de cada actividad. Escriba los valores en la red PERT.
d. Calcule los valores ES y LS de todas las actividades. Despliegue los valores de ES, EF, LS, LF y holgura en una tabla.
e. ¿Cuál es la ruta crítica y cuál es su duración?
f. ¿Cuál es la probabilidad de que el proyecto dure más de 45 días? ¿Qué confianza hay de que el equipo pueda completar el proyecto dentro de 45 días?

18. Tres trayectorias de una red PERT tienen las siguientes duraciones medias y varianzas en semanas:

Trayectoria	Duración media (Σt_e)	Varianza (ΣV_t)
1	65	2.85
2	64	5.40
3	66	1.50

¿En qué trayectoria hay mayor riesgo de sobrepasar la fecha de entrega contractual de 69 semanas?

19. Dos trayectorias en una red PERT tienen las siguientes duraciones medias y varianzas en días:

Trayectoria	Duración media (Σt_e)	Varianza (ΣV_t)
1	45.1	2.75
2	44.5	5.50

¿Qué trayectoria ofrece el riesgo más alto de que dure más de 46 días?

Intercambios tiempo y costo y costo y tiempo

20. A continuación, aparece un informe de estado del tiempo y costo de un proyecto:

	Estado de tiempo (semanas)				Estado de costo (miles de dólares)		
Actividad	Holgura (S)	Duración (D)	Nuevo (D)	Fecha de terminación anterior/nueva	Costo meta	Costo a la fecha	Costo estimado por encima/debajo de la meta hasta la finalización
a	—	8	8	*	12.5	10.5	2.0
b	—	10	10	*	10.0	13.5	(3.5)
c	0	9	10	9/15–9/22	11.0	10.0	(3.5)
d	0	14	17	12/15–1/7	19.0	7.5	(6.0)
e	3	9	7	9/1–8/15	7.5	0.0	1.0
f	2	6	6	10/1–10/1	5.0	0.0	1.0

*La actividad está terminada

Describa completamente el estado de desempeño de tiempo y costo de las actividades del proyecto.

21. Del problema 9:
    a. Construya una red CPM para el proyecto, calcule EF, LF, y la holgura de cada actividad y escriba sus valores en la red CPM. ¿Cuál es la ruta crítica y su duración?
    b. Con base en los costos de aceleración de las actividades del proyecto que aparece a continuación, desarrolle un análisis de intercambio costo/tiempo. Detalle los pasos que utilizaría para acelerar el proyecto, de manera que pudiera ser terminado en no más de 38 días. ¿Cuál sería la nueva duración y costo del proyecto?

Actividad	Duración actual (días)	Duración acelerada (días)	Costo actual	Costo acelerado
a	12	12*	$20,000	$20,000
b	10	8	18,000	20,000
c	8	6	20,000	24,000
d	14	9*	12,000	12,000
e	6	4	4,000	5,600
f	18	12*	19,000	19,000
g	11	10	24,000	25,500
h	21	20	34,000	34,700
i	7	6	31,000	32,800

*Estas actividades no pueden acelerarse.

22. Del problema 10:
    a. Elabore una red CPM del proyecto, calcule EF, LF y la holgura de cada actividad, y escriba sus valores en la red CPM. ¿Cuál es la ruta crítica y su duración?
    b. Con base en los costos de duración de las actividades del proyecto que se dan a continuación, desarrolle un análisis de intercambio costo y tiempo. Detalle los pasos que utilizaría

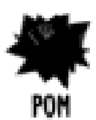
para acelerar el proyecto, de manera que pudiera completarse en no más de 41 días. ¿Cuál sería el nuevo costo y duración del proyecto?

Actividad	Duración actual (días)	Duración acelerada (días)	Costo actual	Costo acelerado
a	7	5	$14,000	$14,800
b	9	7	18,000	24,000
c	6	4	20,000	30,000
d	12	8	10,000	12,000
e	11	10	13,000	15,000
f	14	13	15,000	19,000
g	16	10	25,000	31,000
h	16	15	23,000	25,700
i	12	10	27,000	31,000
j	18	18*	29,000	29,000

*Estas actividades no pueden acelerarse.

Casos

Maxwell Construction Company


POM

Maxwell Construction Company es una gran empresa que se especializa en proyectos de construcción industriales y gubernamentales. La compañía compite únicamente en grandes proyectos a un precio elevado gracias a que ha adquirido reputación por efectuar trabajos de una calidad extraordinaria dentro de las limitaciones de tiempo o de sus contratos. Maxwell ahora está en el proceso de licitar en la construcción de una adición al estadio de futbol de Western State University, un proyecto que se estima en aproximadamente 20 millones de dólares. El único problema es que el proyecto se presenta en un momento en que Maxwell ha obtenido varios contratos grandes y no desea sobreextenderse y dispersarse demasiado. Si el proyecto pudiera completarse dentro de los siguientes 300 días a su inicio, la empresa aceptaría seguir con el contrato. El estimador de costos para Maxwell ha desarrollado las duraciones de las estimaciones de las actividades y las relaciones de precedencia que aparecen en la siguiente tabla:

Actividad	Relación de precedencia (actividades predecesoras inmediatas)	Duración estimada de la actividad (semanas)
a. Demoler y recuperar estructuras existentes	—	10
b. Excavar y nivelar el sitio	a	15
c. Colar zapatas de concreto y cimentación	b	17
d. Instalar plomería subterránea	b	20
e. Instalar servicio eléctrico subterráneo	b	8
f. Preensamblar esqueleto de acero nivel medio	b	14
g. Construir y colar subestructura de concreto	c,d,e	16
h. Colar pisos de concreto nivel inferior	g	12
i. Levantar esqueleto de acero nivel medio	f,h	9
j. Levantar columnas y trabes de concreto del nivel medio	i	21
k. Instalar plomería sobre tierra fase 2	j	18
l. Instalar servicio eléctrico sobre tierra fase 2	j	14
m. Colar los pisos de concreto nivel medio	k,l	23
n. Preensamblar esqueleto de acero nivel superior	i	14
o. Levantar esqueleto de acero nivel superior	m,n	23
p. Construir columnas y trabes concreto nivel superior	o	36
q. Colar pisos nivel superior	p	37
r. Construir conjunto de locales de prensa	q	45

Marchman, David A. *Construction Scheduling with Primavera Project Planner.* Nueva York: Delmar Publishing, 1998.
Miller, Robert W. "How to Plan and Control within PERT". *Harvard Business Review* 40 (marzo-abril de 1962): 93-104.
Naylor, Henry F.W. *Construction Project Management: Planning and Scheduling.* Nueva York: Delmar Publishing, 1995.
Newmark, Henry R. "Auditing Construction Projects". *The Internal Auditor* 54, no. 6 (diciembre de 1997): 36-41.
PERT, Program Evaluation Research Task, Phase I Summary Report, 646-669. Washington, DC: Special Projects Office, Bureau of Ordnance, 7, Department of the Navy, julio de 1958.
Rodrigues, A. G. y Williams, T. M. "System Dynamics in Project Management: Assessing the Impacts of Client Behaviour on Project Performance". *Journal of the Operational Research Society* 49, no. 1 (enero de 1998): 2-15.
Shenlar, Aaron J. "From Theory to Practice: Toward a Typology of Project-Management Styles". *IEEE Transactions on Engineering Management* 45, no. 1 (febrero de 1998): 33 48.
Shipley, Margaret F., Andre de Korvin y Khursheed Omer. "BIF-PET Methodology versus PERT in Project Management: Fuzzy Probability Instead of the Beta Distribution".; *Journal of Engineering & Technology Management* 14, no. 1 (marzo de 1997): 49-65.
Spinner, M. Pele. *Project Management: Principles and Practices.* Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1997.
Tighe, Gary. "From Experience: Securing Sponsors and Funding for New Product Development Projects—The Human Side of Enterprise". *Journal of Product Innovation Management 15,* no. 1 (enero de 1998): 75-81.
Verma, Vijay K. y Hans J. Thamhain. *Human Resource Skills for the Project Manager: The Human Aspects of Project Management.* Upper Darby, PA: Project Management Institute Publications, 1997.

CAPÍTULO 20

ADMINISTRACIÓN DEL MANTENIMIENTO Y CONFIABILIDAD



Introducción

Programas de reparación
- *Cuadrillas de reparación, máquinas de repuesto y talleres de reparación*
- *Las rupturas disparan reparaciones y acciones correctivas*
- *Políticas iniciales de reemplazo de partes*
- *Dejar que los trabajadores hagan la reparación de sus propias máquinas*

Programas de mantenimiento preventivo

Mantenimiento preventivo y estrategias de las operaciones
- *Automatización e importancia del mantenimiento preventivo*
- *Programación de actividades de mantenimiento preventivo*
- *Requerimientos de bases de datos de mantenimiento preventivo*
- *Procedimientos modernos para el mantenimiento preventivo*

Confiabilidad de las máquinas

Responsabilidades secundarias de los departamentos de mantenimiento

Tendencias en el mantenimiento

Problemas de mantenimiento en organizaciones de servicio

Recopilación: Lo que hacen los productores de clase mundial

Preguntas de repaso y análisis

Tareas en Internet

Problemas

Casos
- *Integrated Products Corporation*
- *Roadrunner Coach*

Nota final

Bibliografía seleccionada

LOS FABRICANTES LÍDERES ADOPTAN MANTENIMIENTO PREVENTIVO TOTAL

Los fabricantes líderes toman con seriedad el mantenimiento preventivo. Detestan las interrupciones de la producción, por lo que adoptan programas totales de mantenimiento preventivo para intentar evitar este problema. Cuando una máquina se descompone, una parpadeante luz roja se enciende en la máquina y los trabajadores de producción y los especialistas de los departamentos de mantenimiento trabajan lado a lado para reparar la máquina rápidamente, de manera que se pueda reanudar la producción. La descompostura también genera otra acción. Los trabajadores se reúnen después del trabajo para estudiar el problema y diseñar un programa para eliminar el mal funcionamiento como causa de descomposturas futuras. También, conforme los trabajadores cambian sus propias máquinas para fabricar otros productos, reparan las máquinas o ayudan a los especialistas en la reparación. Los trabajadores dan mantenimiento preventivo a sus propias máquinas como un ritual matutino, recorren metódicamente listas de verificación para sus máquinas, de la misma manera que los pilotos y tripulaciones de vuelo verifican un avión antes de despegar. Escuchan cuidadosamente mientras operan sus máquinas durante el día, atienden cuidadosamente cualquier sugerencia de algún posible mal funcionamiento. Las máquinas se ajustan, se les da servicio y se reparan, antes que problemas menores se conviertan en problemas más grandes que pudieran interrumpir la producción. Esta actividad metódica para evitar interrupciones en la producción se comparte tanto por la gerencia como por los trabajadores. La piedra angular de sus programas totales de mantenimiento preventivo es la participación de los trabajadores.

Este relato ilustra la importancia de mantener el equipo de producción ajustado, reparado y en buen estado de operación. Las razones de esta compulsión para que el equipo se mantenga en perfecto estado de operación no son sólo evitar interrupciones a la producción, sino también conserva bajos los costos de producción, mantiene elevada la calidad del producto, mantiene condiciones de trabajo seguras y evita embarques retrasados a los clientes.

Los malos funcionamientos del equipo en las industrias de la manufactura y del servicio tienen un impacto directo sobre:

- **Capacidad de producción.** Las máquinas ociosas por descomposturas no pueden producir por lo que la capacidad del sistema se reduce.
- **Costo de producción.** Los trabajadores ociosos debido a descomposturas de máquinas hacen que se eleven los costos de la mano de obra por unidad. Cuando los malos funcionamientos de las máquinas hacen que se produzcan bienes de desperdicio, se incrementan los costos unitarios de mano de obra y materiales. También, los presupuestos del departamento de mantenimiento incluyen rubros tales como el costo de incluir instalaciones de reparación, cuadrillas de reparación, inspecciones de mantenimiento preventivo, máquinas de repuesto y refacciones.
- **Calidad del producto y del servicio.** Un equipo con mal mantenimiento produce productos de baja calidad.
- **Seguridad de los empleados o de los clientes.** El equipo desgastado probablemente va a fallar en cualquier momento, y estas fallas pueden causar lesiones a los trabajadores.
- **Satisfacción del cliente.** Cuando se descompone el equipo de producción, a menudo no se pueden fabricar los bienes de acuerdo con los programas maestros de producción. Esto significa que es posible que los clientes no reciban sus pedidos cuando se les prometió.

Los departamentos de mantenimiento se crean para tener una mejor administración del mantenimiento dentro de las organizaciones. Típicamente, un gerente de mantenimiento es un ingeniero de planta que reporte ya sea al gerente de la planta o al gerente de manufactura. El nivel organizacional del departamento dependerá de la importancia del mantenimiento para la empresa. Generalmente los departamentos de mantenimiento se dividen en dos grupos: edificios y terrenos, y mantenimiento de equipo. Edificios y terrenos pueden incluir trabajadores como electricistas, soldadores, plomeros, plomeros de vapor, pintores, vidrieros, carpinteros, colocadores de ventanas, conserjes y jardineros. Es responsabilidad del grupo de edificios y terrenos mantener la apariencia y

utilidad funcional de todos los edificios, áreas verdes, estacionamientos, bardas y todas las demás instalaciones, tanto del interior de los edificios, como del perímetro exterior de las instalaciones. El grupo de mantenimiento de equipo puede incluir trabajadores como mecánicos, maquinistas, soldadores, aceitadores, electricistas, calibradores de instrumentos y técnicos electrónicos. Es responsabilidad del grupo de mantenimiento de equipo tener disponibles cuadrillas de reparación, talleres para la reparación del equipo y un nivel apropiado de mantenimiento preventivo.

El grado de tecnología de los procesos de producción, el monto de la inversión en planta y equipo, la antigüedad de los edificios y del equipo, y otros factores, afectarán la organización de los departamentos de mantenimiento, las habilidades necesarias de sus trabajadores y la concepción general de la misión de los departamentos de mantenimiento.

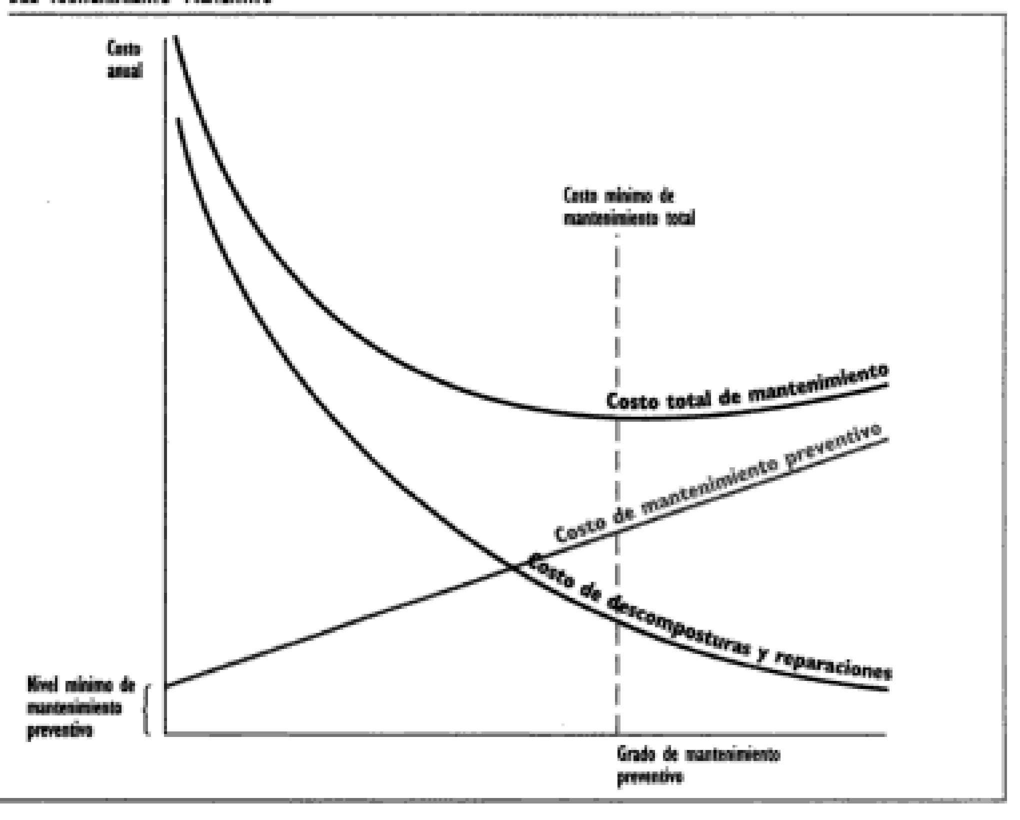
En la mayoría de las organizaciones, las actividades de mantenimiento se dirigen tanto a reparaciones como a mantenimiento preventivo. El alcance de estas actividades de mantenimiento son:

- **Reparaciones.** Cuando los edificios o el equipo se deterioran, funcionan mal o están dañados, de manera que las operaciones normales sufren obstáculos, se reparan, corrigen, reconstruyen y ponen de vuelta en condición de operación. Las actividades de reparación son reactivas; esto es, se ejecutan *después* de haber ocurrido el mal funcionamiento. Se reconoce un mal funcionamiento cuando una pieza de equipo no funciona, opera a una velocidad menor de la normal, produce bienes por debajo de los estándares de calidad o cuando los trabajadores suponen que está a punto de funcionar mal. Las cuadrillas de reparaciones y los talleres de reparaciones trabajan junto con los trabajadores de la operación para hacer que la máquina o el edificio vuelvan a operar tan pronto como sea posible, de manera que se minimice la interrupción a la producción. A menudo, para acelerar este proceso, se utilizan máquinas y piezas de repuesto.
- **Mantenimiento preventivo (PM).** Regularmente se hacen inspecciones programadas de edificios y de todos los elementos del equipo. En esas ocasiones, se efectúan ajustes de máquina, lubricación, limpieza, reemplazo de refacciones, pintura y cualquier reparación o reconstrucción necesaria. Esas actividades se llevan a cabo *antes* de que los edificios o las máquinas funcionen mal. Las inspecciones y reparaciones necesarias generalmente se realizan en periodos en que los edificios o el equipo no son necesarios para la producción. La inspección de un equipo podría programarse en un intervalo de tiempo regular, digamos todos los meses o después de determinada cantidad de horas de operación, de kilómetros, o de cualquier otra medida de uso.

Los gerentes de operaciones hacen intercambios entre el esfuerzo utilizado en reparaciones y en mantenimiento preventivo. Como muestra la figura 20.1, se requiere de alguna cantidad mínima de mantenimiento preventivo para proporcionar el mínimo de lubricación y ajustes para evitar un colapso completo del sistema de producción. A este nivel mínimo de PM, el costo de rupturas, interrupciones a la producción y reparaciones es tan elevado, que el costo total del mantenimiento se eleva más allá de límites prácticos. Esta política es simplemente de remedio: reparar las máquinas sólo cuando se descomponen y ya no trabajan más. Conforme aumenta el esfuerzo de mantenimiento preventivo, se reduce el costo de descomposturas y reparaciones. El costo total de mantenimiento es la suma del mantenimiento preventivo (PM) y de los costos de ruptura y reparación. En algún punto, para cada uno de los equipos, gastar más en mantenimiento preventivo resulta antieconómico porque los costos de mantenimiento preventivo se elevarán más rápidamente que se reducen las descomposturas y costos de reparación. De manera conceptual, los gerentes de operaciones buscan encontrar el nivel óptimo de mantenimiento preventivo en el que los costos totales de mantenimiento resulten mínimos, tanto para cada equipo como para todo el sistema de producción.

La decisión entre mantenimiento preventivo y reparación no resulta simple, porque en ella se involucran más factores que el simple costo de producción. También están involucradas la capacidad de producción, la calidad del producto, la seguridad de empleados y clientes, y su satisfacción. Mientras más dinero se gaste en mantenimiento preventivo, más elevada esperaríamos que resulte la capacidad de producción, la calidad de producto, la seguridad de los empleados y la satisfacción de los clientes. Lo que es más, el esfuerzo gastado en mantenimiento preventivo puede ser fundamental para las estrategias de operación de una empresa y para las estrategias de posicionamiento seleccionadas. Por ejemplo, en empresas enfocadas al producto o muy automatizadas, la descompostura de una pieza de equipo puede dejar ocioso a todo el sistema de producción. Es importante

FIGURA 20.1 COSTO TOTAL DE MANTENIMIENTO COMO FUNCIÓN DEL COSTO DE REPARACIONES Y DEL COSTO DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO



hacer notar que incluso en fábricas con automatización flexible, como FMS, una sola descompostura de máquina puede detener toda o la mayor parte del sistema de producción. Las disposiciones de manufactura celulares experimentan problemas similares. Estas empresas pudieran enfatizar más mantenimiento preventivo para evitar descomposturas frecuentes.

Las empresas enfocadas a procesos, sin embargo, pudieran tener una abundancia de inventarios en proceso y los centros de trabajo están protegidos contra interrupciones en la producción de los centros de trabajo corriente arriba. Estas empresas pudieran hacer énfasis en programas eficientes y rápidos de reparaciones, para evitar la severidad de las descomposturas. La elección de una mezcla apropiada de énfasis en reparaciones y mantenimiento preventivo es, por tanto, función de una determinada cantidad de factores, y esta decisión tiene implicaciones estratégicas para la empresa.

Como un panorama general de la administración del mantenimiento, la tabla 20.1 describe algunas políticas de mantenimiento que emplean frecuentemente los gerentes de operaciones para reducir tanto la frecuencia como la severidad de malos funcionamientos en edificios y equipo.

El aumentar el mantenimiento preventivo, disponiendo de máquinas adicionales para que todas las máquinas se desgasten más lentamente, el rápido reemplazo de refacciones, y la capacitación de los operadores para el cuidado de las máquinas, el aumento de capacidad en el departamento de mantenimiento y el sobrediseño de las máquinas de producción, son políticas alternativas para reducir la frecuencia de malos funcionamientos. El mantenimiento preventivo, involucrando a los operadores en las reparaciones, simplificando las reparaciones a través de nuevos diseños de máquinas, incrementando la capacidad del departamento de mantenimiento, aumentando el suministro de refacciones y máquinas de repuesto y los inventarios en proceso, son políticas alternativas que los gerentes de operaciones emplean para reducir la severidad de malos funcionamientos.

En el resto de este capítulo exploraremos con mayor detalle los programas de reparaciones y los programas de mantenimiento preventivo. También aprenderemos sobre confiabilidad, responsabilidades secundarias del departamento de mantenimiento y tendencias en el mantenimiento.

Se necesitan tiempos de respuesta rápidos y trabajos de reparación veloces para minimizar las interrupciones en productividad debidas al mal funcionamiento de las máquinas.



Cuadrillas de reparación, máquinas de repuesto y talleres de reparación

Una vez ocurrido el mal funcionamiento o cuando éste es inminente, para reparar el equipo de producción y los edificios, se emplean trabajadores de producción, especialistas de reparaciones, componentes de refacción y suministros, herramientas y máquinas especializadas, los talleres de reparación y máquinas de repuesto. Las reparaciones se pueden realizar cuando urgen para minimizar interrupciones a la producción, corregir condiciones de trabajo inseguro, y mejorar la calidad de producto. En esta situación de urgencia los trabajadores de la producción y los especialistas en reparaciones pueden trabajar tiempo extra, o pueden transferirse de otros proyectos menos críticos. Los supervisores de mantenimiento y los ingenieros están disponibles para colaborar con los trabajadores para tomar decisiones conforme avanzan las reparaciones. Las máquinas que estén funcionando mal pueden reemplazarse rápidamente por máquinas de repuesto. La meta fundamental en las reparaciones es minimizar la duración de la interrupción a la producción, por lo que se requieren tiempos rápidos de respuesta y trabajos rápidos de reparación.

La figura 20.2 ilustra la manera en que los gerentes de operaciones deben comparar los costos de efectuar reparaciones contra los costos por interrupciones a la producción. Grandes cuadrillas de reparación, uso de tiempo extra, mantenimiento de talleres de gran capacidad y amplios suministros de refacciones y de máquinas de repuesto, funcionan conjuntamente para acelerar las reparaciones y reducir el costo de interrupciones a la producción. Sin embargo, como muestra la figura 20.2, se llega a un punto donde el costo de reparaciones rápidas no se compensa por ahorros en la interrupción a la producción. El reto fundamental en la administración de los programas de reparación es equilibrar el costo de las cuadrillas de reparaciones, talleres, refacciones y máquinas de repuesto, contra la necesidad de reparaciones rápidas.

Las rupturas disparan reparaciones y acciones correctivas

Idealmente, un mal funcionamiento del equipo debería provocar dos acciones: primero, una rápida reparación del mal funcionamiento, para hacer que el equipo regrese a producción tan aprisa como sea posible, segundo, y tal vez de mayor importancia, el desarrollo de un programa para eliminar la causa del mal funcionamiento y de la necesidad de este tipo de reparaciones. Este programa podría incluir el rediseño o modificación de la máquina que funcionó mal, la modificación y rediseño de la pieza o producto que se está procesando, la capacitación de los trabajadores de producción para mejorar el cuidado de la máquina y, más frecuentes ajustes, lubricación e inspecciones de mantenimiento preventivo.

el tamaño de las cuadrillas de reparaciones que arreglan máquinas. Tal vez usted desee repasar la sección de análisis de colas del capítulo 13 antes de leer este ejemplo. Este tipo de problema ocurre cuando los gerentes de operaciones deben estimar la capacidad de mantenimiento. Esto generalmente involucra dos tipos de problemas de capacidad de mantenimiento: tamaño de las cuadrillas y capacidad de los talleres de reparaciones. Cualquiera de ellos se puede analizar convenientemente utilizando fórmulas de colas. Debe tenerse cuidado, sin embargo, de revisar las hipótesis de las fórmulas de colas y asegurarse que se ajustan al problema que se está analizando. A menudo se utiliza la simulación por computadora para analizar problemas de capacidad de mantenimiento, cuando las hipótesis de las fórmulas de colas no concuerdan con el problema de mantenimiento.

EJEMPLO 20.1

DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS CUADRILLAS DE MANTENIMIENTO

Bill Willis es supervisor de mantenimiento en una fábrica de llantas de automóvil. Hace varios años, la planta instaló más de 200 máquinas moldeadoras de llantas de un mismo diseño, y Bill es el gerente responsable de que las máquinas se reparen cuando se descomponen. Supervisa especialistas de mantenimiento que reparan las máquinas en mal funcionamiento en el piso de taller. El gerente de la planta instruyó a Bill para que cuando se descompongan las máquinas de las llantas deberán estar nuevamente en servicio en 20 horas en promedio. Bill recolectó datos de los registros históricos y se ha encontrado que las máquinas se descomponen a una tasa promedio de 3.75 por hora y que cada especialista de mantenimiento puede reparar una máquina en promedio en cuatro horas, por lo que cada uno de ellos puede reparar 0.25 máquinas por hora en promedio. ¿Cuántos especialistas en reparaciones se requieren?

SOLUCIÓN

1. Primero vea en la tabla 13.5 del capítulo 13. Si suponemos que la reparación de las máquinas se efectúa según las hipótesis del modelo 1, la fórmula para encontrar el valor de la tasa promedio de reparaciones (μ) es:

$$t_s = \frac{1}{\mu - \lambda}$$

2. Después despeje la fórmula, de manera que la tasa de reparación promedio (μ) quede del lado izquierdo de la ecuación:

$$t_s = \frac{1}{\mu - \lambda}, \quad (\mu - \lambda)t_s = 1, \quad \mu = \lambda + 1/t_s$$

3. Dado que la tasa de ruptura promedio (λ) es 3.5 y el tiempo promedio requerido para reparar las máquinas (t_s) es 2, calcule la tasa de reparaciones de promedio requerida (μ):

$$\mu = \lambda + 1/t_s = 3.5 + 1/2 = 4 \text{ máquinas por hora}$$

4. Después, dado que ahora conocemos la tasa de reparaciones promedio (μ) y que cada especialista de reparaciones toma cuatro horas en promedio para reparar una máquina, calcule la cantidad de especialistas de mantenimiento requeridos.

$$\text{Cantidad de especialistas} = \mu \div \text{máquinas por hora que puede reparar un especialista}$$
$$= 4 \div 0.25 = 16 \text{ especialistas de mantenimiento}$$

En el ejemplo 20.2 se utiliza una tabla de retribución para determinar la cantidad de máquinas de repuesto necesarias para minimizar el costo de efectuar reparaciones a máquinas que funcionan mal en un departamento de producción. Este tipo de problemas ocurre cuando los gerentes de las operaciones deben proporcionar:

1. Una existencia de refacciones para reparar máquinas *después* de la descompostura.
2. Una existencia de refacciones para hacer reparaciones no anticipadas durante inspecciones de mantenimiento preventivo.
3. Una existencia de máquinas de repuesto para reemplazar máquinas *después* de la descompostura.

En estos problemas, los gerentes de operaciones no saben cuánto de cada una de estas partes se necesitará cada semana. Ante esta incertidumbre, no desean almacenar demasiadas refacciones, dado que su almacenamiento, seguro, financiamiento, mantenimiento y manejo es costoso. Similarmente, no desean almacenar muy pocas, debido al tiempo perdido de producción y otros costos. Cuando se tienen que tomar estas decisiones, por lo tanto los gerentes de operaciones intentan proporcionar el nivel de existencia que balancee el costo de almacenar muy pocas refacciones contra el costo de almacenar demasiadas, dada una demanda incierta para esa existencia.

EJEMPLO 20.2

DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE MÁQUINAS DE REPUESTO

Bill Willis, del ejemplo 20.1, es el gerente responsable de la reparación de 200 máquinas idénticas de moldeo de llantas. Cuando una de ellas se descompone, los especialistas de mantenimiento de Bill reemplazan la máquina que funciona mal con una de repuesto, si es que está disponible. Cuando así ocurre, el tiempo que la operación está fuera de producción se reduce mucho. Recientemente el gerente de la planta pidió a Bill que revise la cantidad de máquinas de repuesto disponibles y que recomiende si ésta debe incrementarse. Bill estudia los registros históricos de descompostura de máquinas entre las máquinas de moldeo de llantas y encuentra la siguiente información:

Cantidad de máquinas que funcionan mal por hora	Ocurrencia	Frecuencia relativa (fracción y proporción)
6	25	25/500 = 0.05
5	75	75/500 = 0.15
4	125	125/500 = 0.25
3	175	175/500 = 0.35
2	100	100/500 = 0.20
Total	500	1.00

Bill colabora con los departamentos de contabilidad e ingeniería industrial para el desarrollo de las estimaciones de costo. Cuando se tienen demasiado pocas máquinas de repuesto, cada descompostura cuando no esté disponible una máquina de repuesto, le cuesta 150 dólares a la empresa por tiempo de producción perdido y mayores costos de la reparación, por condiciones de urgencia. Cuando hay demasiadas máquinas de repuesto, cada una de ellas que no esté en uso cuesta a la empresa 80 dólares por hora por almacenamiento, manejo especial y otros costos. ¿Cuántas máquinas de repuesto deben proveerse, para minimizar el costo total esperado?

SOLUCIÓN

1. Primero, vuelva a los ejemplo 10.7 y 10.11 del capítulo 10 y repase la manera de resolver problemas de tablas de retribución.
2. Después, establezca la tabla de retribución y complete los cálculos:

INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 20.1

MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL EN ASTEN

Asten es una empresa de Carolina del Sur, que produce elementos de precisión para la industria del papel. Su planta en Clinton, Carolina del Sur, manufactura textiles tejidos y no tejidos para prensas, que se utilizan en la producción del papel. A principios de los años 90, como parte de un esfuerzo para competir en el Premio Nacional de Calidad Malcolm Baldrige, Asten revisó sus prácticas de mantenimiento y decidió mejorarlas introduciendo en la planta el mantenimiento productivo total.

Como parte de la iniciativa TPM, asesores externos capacitaron en ésta a los asociados de mantenimiento. Estas personas capacitaron después a los operadores de las máquinas. Se formó un equipo de implementación TPM entre departamentos para promoverla y apoyarla. Cada departamento de producción está obligado a crear un programa de mantenimiento y desarrollar sus propias políticas de operación TPM. Los operadores de las máquinas se capacitan para realizar mantenimiento preventivo a sus máquinas y se les da una certificación por cada tarea de mantenimiento que son capaces de hacer. También se han instalado amperímetros en algunas máquinas de manera que se pueda predecir la necesidad de mantenimiento, al analizar la corriente que la máquina utiliza a lo largo del tiempo. Para predecir descomposturas en algunas máquinas, se analiza periódicamente el aceite lubricante.

A los largo de un periodo de seis años, que se inició poco después de la introducción de TPM, el impacto de la descompostura de máquinas se mejoró sustancialmente. La cantidad de fallas mensuales se redujo de 158 a 95, y las horas-hombre resultantes de tiempo perdido por mes bajaron de 4,043 a 342. También, las horas-hombre del departamento de mantenimiento utilizadas en descomposturas de máquina se redujo en aproximadamente 60%, y la horas de mano totales del departamento de mantenimiento, utilizadas en mantenimiento preventivo y en descompostura se redujo en aproximadamente una tercera parte.

Fuente: Patterson, J. Wayne, Lawrence D. Fredendall, William J. Kennedy y Allen McGee. "Adapting Total Productive Maintenance to Asten, Inc." *Production and Inventory Management Journal* 37, no. 4 (cuarto trimestre de 1996): 32-37.

La piedra angular de los programas de mantenimiento preventivo es la participación del trabajador. Igual que en el caso del concepto de calidad en el origen (ubicando la responsabilidad de la calidad de producto en el trabajador de producción), los productores estadounidenses deben aplicar el concepto de mantenimiento preventivo en el origen. En este procedimiento, los trabajadores son quienes tienen la responsabilidad fundamental de evitar la descompostura de las máquinas mediante el mantenimiento preventivo de su propia máquina. Los trabajadores deben desarrollar una mentalidad aerospacial hacia el mantenimiento preventivo. ¿Usted sabe cómo pilotos y tripulación repasan las listas de verificación antes de que pueda despegar un avión? Esta atención meticulosa a cada uno de los pequeños detalles del desempeño de la aeronave es para evitar lo impensable: un accidente aéreo. Los trabajadores también deben repasar una lista de verificación de mantenimiento preventivo todas la mañanas, inspeccionando, lubricando y ajustando sus propias máquinas con el mismo temor a lo impensable: una descompostura de máquina. La Instantánea Industrial 20.1 ilustra los conceptos de mantenimiento preventivo en el origen y el mantenimiento preventivo (o productivo) total.

Mientras los trabajadores operan sus máquinas a lo largo del día, escuchan atentamente su operación, esperando detectar cualquier indicio de irregularidad, de manera que puedan corregir el problema antes que ocurra un mal funcionamiento. Llenan tarjetas, que se mantienen en sobres sujetos a sus máquinas, indicando el mantenimiento preventivo, las reparaciones y los datos de servicio. Si durante estas inspecciones de mantenimiento preventivo, se necesitan refacciones u otras reparaciones, los trabajadores de producción asisten a los especialistas de mantenimiento en su trabajo. Después de un cierto tiempo, estos trabajadores se capacitan no sólo en varios trabajos de producción, sino también en el mantenimiento de las máquinas de varios puestos. Dado que los trabajadores conocen más de un puesto y pueden desarrollar más de un trabajo, se hacen más valiosos para la empresa, y la empresa es más flexible para responder a cambios.

En el capítulo 17 analizamos el uso de los círculos de calidad para resolver problemas de producción. Uno de los problemas de producción que se ataca comúnmente en estos círculos es evitar la descompostura de máquinas. Los co-trabajadores estudian las actividades de mantenimiento preventivo para decidir la frecuencia en que debe inspeccionarse preventivamente cada máquina y

para identificar otras actividades de mantenimiento preventivo que deben ejecutarse en esas oportunidades. El uso de equipos de estudio formados por trabajadores para resolver problemas de mantenimiento es un elemento clave para el mantenimiento preventivo.

Un importante obstáculo para la mayor participación de los trabajadores en el mantenimiento preventivo de los fabricantes estadounidenses son las reglas laborales de los sindicatos, que restringen el tipo de tareas que cada trabajador puede efectuar. Por ejemplo, estas reglas pudieran impedir a los obreros de producción cambiar o efectuar mantenimiento en sus propias máquinas. Estas reglas aparecieron debido al interés de los sindicatos en proteger el empleo, darle seguridad y por diferencias en la tasa de paga, y en Estados Unidos se han hecho tradicionales, incluso en talleres no sindicalizados. Negociaciones recientes empresa-sindicato se han enfocado a eliminar muchas de estas reglas de trabajo restrictivas. La planta de ensamble Saturn de General Motors en Spring Hill, Tennessee, por ejemplo, efectuó cambios importantes en los reglamentos laborales tradicionales del United Auto Workers (UAW).

Aquí presentamos tres ejemplos que ilustran el análisis de algunas decisiones comunes en el mantenimiento preventivo. En el ejemplo 20.3 se estudia y analiza el problema de determinar cuántas partes almacenar como refacción durante las inspecciones de mantenimiento preventivo. Este tipo de problema es quizás único para el mantenimiento preventivo, dado que la demanda de refacciones proviene de dos fuentes y difieren las formas apropiadas para estimar los dos tipos de demanda. De particular interés en este ejemplo es la descripción de un sistema para programar pedidos para las refacciones planeadas para las inspecciones de mantenimiento preventivo. Este sistema utiliza una lógica similar a la que se utiliza en la planeación de requerimientos de materiales.

Ejemplo 20.3

Determinación de la cantidad de refacciones para el mantenimiento preventivo

Bill Willis del ejemplo 20.2, supervisa el programa de mantenimiento preventivo para 200 máquinas de moldeo de llantas. El otro día se detuvo el gerente de la planta en la oficina de Bill y preguntó la forma en que el personal de Bill determinaba la cantidad de refacciones a utilizar en las inspecciones de mantenimiento preventivo de las máquinas moldeadoras de llantas. Aparentemente, según el gerente de la planta, había demasiado dinero detenido en refacciones utilizadas para mantenimiento preventivo y se preguntaba si sería posible reducir ese inventario sin afectar el programa general de mantenimiento preventivo. Hizo énfasis que no deseaba que la frecuencia de descompostura de las máquinas se incrementara más allá de los niveles presentes. Admitiendo que no entendía completamente la forma en que debería determinarse la cantidad apropiada de refacciones para el mantenimiento preventivo, pidió a Bill que estudiara el asunto, que lo analizara con su personal, y que regresara con él. El gerente de la planta deseaba que Bill recomendara un proceso para determinar la cantidad apropiada de refacciones para mantenimiento preventivo.

Solución

1. Primero, Bill llamó a una reunión de su personal clave para analizar el problema. El grupo estableció estos puntos básicos:
   a. La necesidad de cada una de las refacciones se origina debido a dos tipos de demanda: un tipo de demanda incierta, porque la necesidad de refacciones sólo se conoce durante las inspecciones de mantenimiento preventivo. Otro tipo de demanda cierta puede calcularse fácilmente, porque las refacciones programadas a reemplazarse durante las inspecciones de mantenimiento preventivo se pueden prever.
   b. El tipo de demanda incierto se crea cuando durante una inspección programada periódicamente a una máquina, se determina que un componente en particular se está desgastando más aprisa de lo esperado, esto es, no se espera que dure hasta la siguiente inspección programada. Un inventario de este componente se almacena para llenar esta demanda incierta. La determinación de la cantidad de este tipo de inventario de refacción que se debe tener, es similar a determinar cuánto inventario de un componente tener para efectuar

EJEMPLO 20.5

PLANEACIÓN Y CONTROL DE PROYECTOS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A GRAN ESCALA

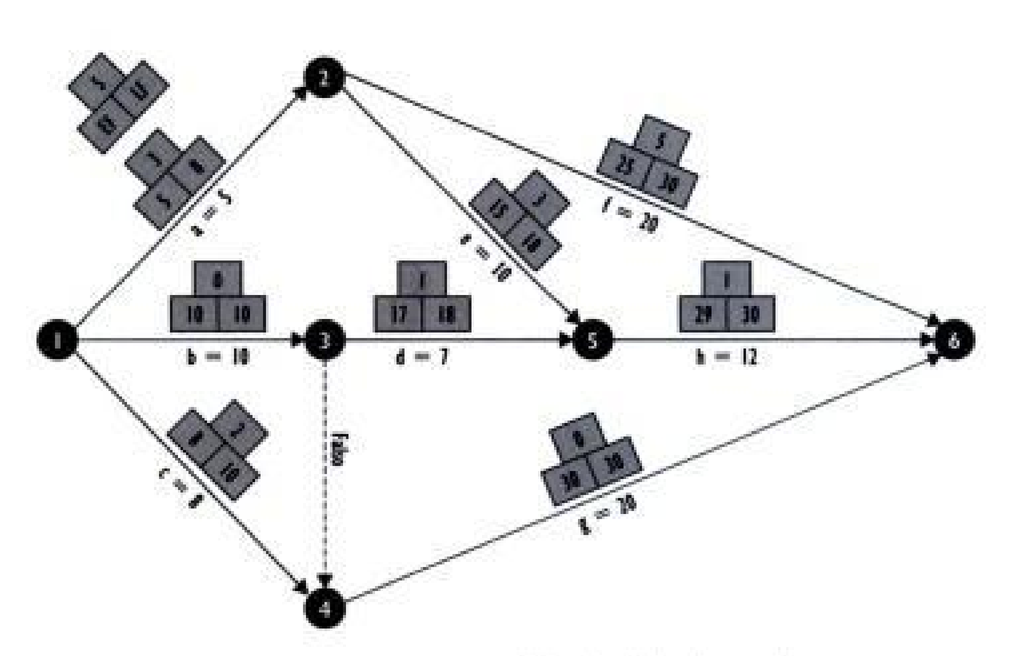
Natasha Jackson es planeador de mantenimiento en la refinería de Cajun Oil en Lafayette, Luisiana. Está desarrollando un plan para el paro anual por mantenimiento preventivo de la refinería. Había identificado estas actividades principales de mantenimiento, estimado su duración y determinado sus relaciones de precedencia entre sí.

Actividad	Actividades predecesoras inmediatas	Duración de la actividad (días)
a. Otorgar contratos a subcontratistas	—	5
b. Citar a trabajadores de Cajun Oil para el mantenimiento preventivo	—	10
c. Drenar depósitos de almacenamiento	—	8
d. Desmantelar la unidad de destilación	b	7
e. Trabajo en la unidad de destilación por el subcontratista	a	10
f. Trabajo de pintura por el subcontratista	a	20
g. Limpieza y reparación de depósitos de mantenimiento	b,c	20
h. Reensamblar la unidad de destilación	d,e	12

Desarrolle un análisis CPM del proyecto de mantenimiento preventivo. Calcule el camino crítico, la duración del proyecto y la holgura de cada actividad.

SOLUCIÓN

1. Primero, vuelva a los ejemplos 19.1 al 19.4 del capítulo 19 y repase los procedimientos para un análisis CPM.
2. Después, dibuje un diagrama de red CPM para el proyecto. Calcule LS, LF y S para cada actividad dentro del diagrama.
3. Ahora, determine el camino crítico, la duración del proyecto y la holgura de cada actividad.



El camino crítico es la trayectoria b-g. El proyecto de mantenimiento preventivo requerirá 30 días para su terminación. La holgura de cada actividad se encuentra en el recuadro superior, sobre cada flecha de actividad. Todas las actividades que tienen una holgura igual a cero están sobre el camino crítico.

Veamos ahora los conceptos de confiabilidad y su relación con la administración del mantenimiento.

Confiabilidad de las máquinas

Nuestro interés aquí está en la ***confiabilidad de las máquinas,*** *que es la probabilidad de que se descomponga una máquina, que funcione mal o que requiera reparaciones en un periodo dado de tiempo o después de un número dado de horas de uso.* Si se puede incrementar la confiabilidad de la máquina, se podrá reducir también la incidencia de descomposturas de máquina y el costo del estrago causado en la producción por esas fallas. En el capítulo 17, Administración de la calidad, analizamos los conceptos y problemas relacionados con el diseño de productos para su confiabilidad. Este análisis del capítulo 17 se aplica aquí exactamente, excepto que se reemplaza la palabra *producto* por la palabra *máquina,* ya que usted puede comprender que la máquina que deseamos sea más confiable, cuando se diseñó y fabricó, era el producto en otro departamento, o empresa.

Como se vio en el capítulo 17, hay tres procedimientos para mejorar la confiabilidad de la máquina: sobrediseño, simplificación del diseño y componentes redundantes; estas tres se dan al diseñar la máquina. ***Sobrediseño*** *significa aumentar un diseño para evitar un tipo específico de falla.* Si una máquina sólo tiene unas cuantas partes independientes críticas que interactúan, entonces el sobrediseño puede ser una manera de incrementar la confiabilidad de la máquina. ***Simplificación de diseño*** *significa reducir la cantidad de partes que interactúan en una máquina.* Dado que hay menos partes que pueden fallar, aumenta la confiabilidad de la máquina, ya que se redujo en función a la cantidad de partes en interacción. ***Componentes redundantes*** *significa incorporar componentes de respaldo dentro de la máquina, de manera que si un componente falla, automáticamente los reemplaza su respaldo.* Estos procedimientos se pueden utilizar juntos o por separado para diseñar máquinas más confiables.

Responsabilidades secundarias de los departamentos de mantenimiento

Todos los departamentos de mantenimiento son responsables de la reparación de los edificios y del equipo, y de efectuar ciertas inspecciones, reparaciones, lubricaciones y ajustes de mantenimiento preventivo. Además, tradicionalmente se ha asignado a estos departamentos ciertas responsabilidades secundarias.

La limpieza de los locales, los servicios de portería, el lavado de vidrios y cristales, la conservación de patios y jardines, y los servicios de pintura normalmente lo realizan departamentos de mantenimiento. Estas actividades, por lo general, incluyen todas las áreas de instalaciones, desde los sanitarios hasta las oficinas, departamentos de producción y almacenes. En algunas plantas, sin embargo, cada trabajador limpia las áreas alrededor de su lugar de trabajo, y la apariencia y limpieza de todas las demás áreas son responsabilidad del departamento de mantenimiento.

A algunos departamentos de mantenimiento se les han asignado responsabilidades de nuevas construcciones, remodelado, mantenimiento de equipo de seguridad, prevención de pérdidas, seguridad, control de riesgo público, disposición y transformación de desechos y control de contaminación.

Tendencias en el mantenimiento

La maquinaria de producción es ahora mucho más compleja de lo que era hace 10 o 20 años. Los controles computarizados, la robótica, la nueva tecnología en metalurgia, controles electrónicos más complejos, nuevos métodos de tecnología de la lubricación y otros desarrollos han resultado en muchos cambios en la forma en que se da mantenimiento a estas máquinas complejas.

Han aparecido programas de capacitación especializados para dar a los trabajadores de mantenimiento la destreza y habilidad necesaria para el servicio y reparación del equipo especializado. Un ejemplo de esta capacitación se encuentra en el campo de los sistemas de soporte a la vida de los hospitales. Los ingenieros y técnicos que diseñan y realizan programas de mantenimiento de este equipo médico sofisticado deben estar involucrados en programas de capacitación continuos para mantenerse en la punta de los nuevos desarrollos de equipo. Estos programas de capacitación se dan en los hospitales mismos, a través de grupos de cuidados a la salud y por instituciones educativas públicas y privadas.

Se han desarrollado empresas de servicio subcontratantes para suministrar servicios especializados de mantenimiento. Las computadoras, los automóviles, las máquinas de oficina y otros productos, de una manera cada vez más común, están recibiendo servicio de empresas subcontratadas. Su capacitación técnica especializada y su estructura de honorarios, que por lo general está basada en requerimientos, se combina para ofrecer un servicio competente a un costo razonable.

Se han desarrollado otras técnicas que prometen reducir el costo del mantenimiento y al mismo tiempo mejorar el desempeño de las máquinas de producción. Un ejemplo es la red de sondas detectoras de temperatura computarizada conectada a todos los cojinetes clave en un sistema de maquinaria. Cuando éstos empiezan a fallar, se sobrecalientan y vibran, y los sistemas detectores indican que un problema es inminente y se puede evitar el daño grave que pueden sufrir las máquinas al fallar los cojinetes: flechas rotas, engranes cortados, etcétera.

Dado que las computadoras han sido casi universalmente aceptadas en los sistemas de información administrativos en todo tipo de organizaciones, los departamentos de mantenimiento también han sido afectados por este desarrollo. De manera ordinaria, cinco áreas generales en el mantenimiento utilizan la asistencia por computadora: 1) para programar proyectos de mantenimiento; 2) para informar sobre costos de mantenimiento por departamento de producción, por categoría de costo y por otras clasificaciones; 3) para informar sobre el estados de inventarios de componentes y suministros de mantenimiento; 4) para datos de fallas de componentes, y 5) para estudio de análisis de operaciones, que puede incluir la simulación por computadora, las colas de espera (teoría de colas) y otros programas analíticos. La información proveniente de estos usos de las computadoras puede brindar a los gerentes de mantenimiento patrones de falla necesarios, datos de costos y otra información fundamental para tomar las decisiones clave de mantenimiento como las analizadas en esta sección. La Instantánea Industrial 20.2 ilustra el uso de computadoras en la programación de proyectos de mantenimiento.

Aunque las computadoras, la robótica y la tecnología de alta tecnología son problemas importantes en la administración del mantenimiento, la preocupación respecto al personal puede ser el alma de un mejor mantenimiento. Una tendencia importante es la participación de los trabajadores de producción en la reparación de sus propias máquinas y la ejecución de su mantenimiento preventivo. Ampliar los puestos de los trabajadores de producción para incluir el mantenimiento de sus máquinas, no solamente es probable que mejore el mantenimiento, sino que incorpora muchos beneficios colaterales. Las reglas sindicales restrictivas respecto al trabajo están desapareciendo a gran velocidad.

PROBLEMAS DE MANTENIMIENTO EN ORGANIZACIONES DE SERVICIO

En este capítulo nos enfocamos principalmente a problemas de mantenimiento en la manufactura, pero el mantenimiento también es una preocupación importante en organizaciones de servicio. Las aerolíneas, las empresas de entrega de paquetería como Federal Express y las empresas de autotransporte tienen que establecer programas de mantenimiento preventivo para mantener sus aviones y transportes en estado óptimo de operación. También deben efectuar reparaciones para corregir fallas inesperadas, por lo que deben administrarse inventarios de refacciones. Los departamentos estatales de carreteras también deben mantener carreteras y supercarreteras. Se deben tomar decisiones sobre cuánto puede gastarse en mantenimiento preventivo para caminos, como recubrimientos o reemplazo de pavimento, en comparación con cuánto gastar en efectuar reparaciones, como relleno de baches y arreglo de grietas y agujeros. Los gerentes de oficina en todas las organizaciones tienen que enfrentarse con el mal funcionamiento ocasional de copiadoras, faxes, computadoras, impresoras y otros

6. Se tiene almacenada una computadora de repuesto y se utiliza para reemplazar las que funcionen mal en cualquier parte del edificio. Si una de las computadoras de repuesto no está disponible cuando ocurre un mal funcionamiento, le cuesta a la empresa 50 dólares en productividad perdida de uno de los empleados. Por otra parte, si una de las computadoras de repuesto no se utiliza, le cuesta por semana 250 dólares por manejo adicional, almacenamiento y posesión. La demanda de estas computadoras de repuesto es:

Demanda semanal	Instancias
20	15
30	25
35	35
40	30
Total	105

¿Cuántas computadoras de repuesto deben almacenarse en esta empresa de contabilidad para minimizar los costos esperados?

7. Para una computadora mainframe, la inspección de mantenimiento preventivo y al ciclo de reparaciones cuesta en promedio 2,000 dólares. Si la computadora se descompone, se incurre en un costo promedio de 5,000 dólares. El patrón histórico de rupturas para la computadora es:

Meses/ mantenimiento preventivo	Cantidad promedio de descomposturas entre ciclos de mantenimiento preventivo
1	0.2
2	0.6
3	1.8
4	3.6
5	7.0

Recomiende con qué frecuencia deberá realizarse el mantenimiento preventivo.

8. Cuesta un total de 2,000 dólares dar mantenimiento preventivo a cinco máquinas idénticas. Si una de ellas funciona mal entre inspecciones, el costo promedia 5,000 dólares. A continuación aparecen los datos históricos de descompostura correspondientes a la máquina:

Meses entre mantenimiento preventivo	Cantidad promedio de descomposturas entre inspecciones de mantenimiento preventivo
2	0.1
3	0.5
4	1.6
5	3.2

¿Qué intervalo entre inspecciones de mantenimiento preventivo minimizará los costos totales de reparaciones esperados y los costos de mantenimiento preventivo?

9. Cuesta 1,000 dólares una reparación de un motor de automóvil y las probabilidades de una falla del motor en función a diversos intervalos entre cambios de aceite son:

Miles de millas entre cambios de aceite	Probabilidad de falla del motor
60	0.05
70	0.10
80	0.20
90	0.30
100	0.35

Apéndice A: Distribución de probabilidad normal

Tabla A.1

Áreas bajo la curva normal

Z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
.0	.50000	.50399	.50798	.51197	.51595	.51994	.52392	.52790	.53188	.53586
.1	.53983	.54380	.54776	.55172	.55567	.55962	.56356	.56749	.57142	.57535
.2	.57926	.58317	.58706	.59095	.59483	.59871	.60257	.60642	.61026	.61409
.3	.61791	.62172	.62552	.62930	.63307	.63683	.64058	.64431	.64803	.65173
.4	.65542	.65910	.66276	.66640	.67003	.67364	.67724	.68082	.68439	.68793
.5	.69146	.69497	.69847	.70194	.70540	.70884	.71226	.71566	.71904	.72240
.6	.72575	.72907	.73237	.73536	.73891	.74215	.74537	.74857	.75175	.75490
.7	.75804	.76115	.76424	.76730	.77035	.77337	.77637	.77935	.78230	.78524
.8	.78814	.79103	.79389	.79673	.79955	.80234	.80511	.80785	.81057	.81327
.9	.81594	.81859	.82121	.82381	.82639	.82894	.83147	.83398	.83646	.83891
1.0	.84134	.84375	.84614	.84849	.85083	.85314	.85543	.85769	.85993	.86214
1.1	.86433	.86650	.86864	.87076	.87286	.87493	.87698	.87900	.88100	.88298
1.2	.88493	.88686	.88877	.89065	.89251	.89435	.89617	.89796	.88973	.90147
1.3	.90320	.90490	.90658	.90824	.90988	.91149	.91309	.91466	.91621	.91774
1.4	.91924	.92073	.92220	.92364	.92507	.92647	.92785	.92922	.93056	.93189
1.5	.93319	.93448	.93574	.93699	.93822	.93943	.94062	.94179	.94295	.94408
1.6	.94520	.94630	.94738	.94845	.94950	.95053	.95154	.95254	.95352	.95449
1.7	.95543	.95637	.95728	.95818	.95907	.95994	.96080	.96164	.96246	.96327
1.8	.96407	.96485	.96562	.96638	.96712	.96784	.96856	.96926	.96995	.97062
1.9	.97128	.97193	.97257	.97320	.97381	.97441	.97500	.97558	.97615	.97670
2.0	.97725	.97784	.97831	.97882	.97932	.97982	.98030	.98077	.98124	.98169
2.1	.98214	.98257	.98300	.98341	.98382	.98422	.98461	.98500	.98537	.98574
2.2	.98610	.98645	.98679	.98713	.98745	.98778	.98809	.98840	.98870	.98899
2.3	.98928	.98956	.98983	.99010	.99036	.99061	.99086	.99111	.99134	.99158
2.4	.99180	.99202	.99224	.99245	.99266	.99286	.99305	.99324	.99343	.99361
2.5	.99379	.99396	.99413	.99430	.99446	.99461	.99477	.99492	.99506	.99520
2.6	.99534	.99547	.99560	.99573	.99585	.99598	.99606	.99621	.99632	.99643
2.7	.99653	.99664	.99674	.99683	.99693	.99702	.99711	.99720	.99728	.99736
2.8	.99744	.99752	.99760	.99767	.99774	.99781	.99788	.99795	.99801	.99807
2.9	.99813	.99819	.99825	.99831	.99836	.99841	.99846	.99851	.99856	.99861
3.0	.99865	.99869	.99874	.99878	.99882	.99886	.99889	.99893	.99896	.99900
3.1	.99903	.99906	.99910	.99913	.99916	.99918	.99921	.99924	.99926	.99929
3.2	.99931	.99934	.99936	.99938	.99940	.99942	.99944	.99946	.99948	.99950
3.3	.99952	.99953	.99955	.99957	.99958	.99960	.99961	.99962	.99964	.99965
3.4	.99966	.99968	.99969	.99970	.99971	.99972	.99973	.99974	.99975	.99976
3.5	.99977	.99978	.99978	.99979	.99980	.99981	.99981	.99982	.99983	.99983
3.6	.99984	.99985	.99985	.99986	.99986	.99987	.99987	.99988	.99988	.99989
3.7	.99989	.99990	.99990	.99990	.99991	.99991	.99992	.99992	.99992	.99992
3.8	.99993	.99993	.99993	.99994	.99994	.99994	.99994	.99995	.99995	.99995
3.9	.99995	.99995	.99996	.99996	.99996	.99996	.99996	.99996	.99997	.99997

La tabla A.1, Áreas bajo la curva normal, da los valores de Z, es decir la cantidad de desviaciones estándar que los separa de la media, para cada valor de x y el área bajo la curva a la izquierda de x. Por ejemplo, en la figura A.1, si Z = 1.96, el valor 0.9750 que aparece en la tabla es el área total no sombreada a la izquierda de x.

Los valores Z de las tabla A.1 no tienen signo, esto es, los valores Z pueden ser negativos (−) o positivos (+). En cada problema se determina el signo de Z. En la figura A.1, Z es positivo ya que x cae a la derecha de la media (μ); en la figura A.2, x cae a la izquierda de la media (μ) y el área que se encuentra en la tabla aparece a la derecha de x. En esta figura, Z = −2.28 ya que x cae a la izquierda de la media.



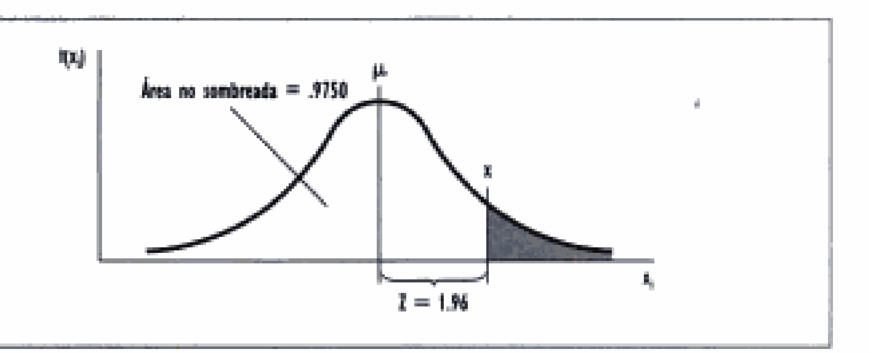
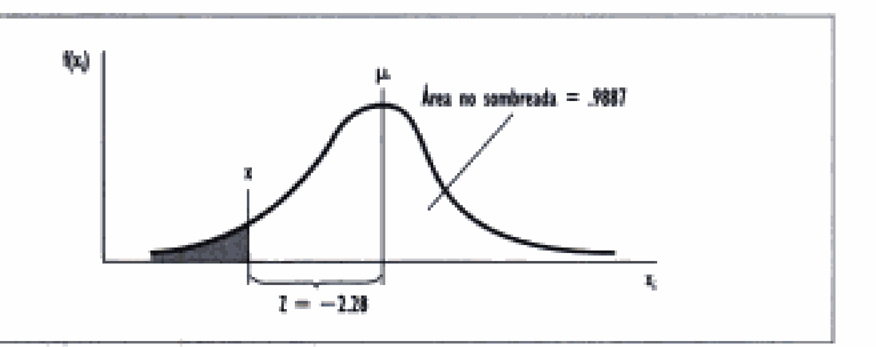


FIGURA A.2



En estos ejemplos, se especificaron valores para Z de 1.96 y de −2.28 y el área no sombreada a la izquierda de x (valores de Z positivos) o a la derecha de x (valores para Z negativos) se buscó en la tabla. A menudo se utiliza el proceso inverso o se especifica el área sombreada o el área sin sombrear, y se lee el valor Z en la columna de valores para Z. Por ejemplo, si el área sin sombrear = 0.90, el valor para Z se toma de la tabla, Z = 1.28.

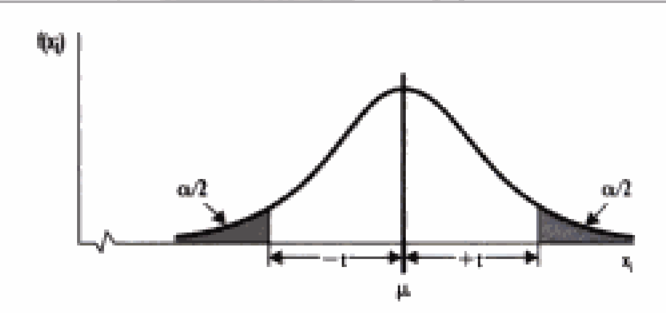
El área sombreada es α, que es el nivel de significancia, si se está utilizando un α de una sola cola. Sin embargo, si se utiliza un α de dos colas, el área sombreada es $\alpha/2$. En algunas aplicaciones, como en los diagramas de control de calidad, casi siempre se utiliza un α de dos colas. En otras aplicaciones, como en el establecimiento de criterios de aceptación en el control de calidad, pueden utilizarse α de una sola cola o de dos colas.

Apéndice B: Distribución de probabilidad t de Student

La distribución de probabilidad t de Student, que se muestra en la tabla B.1, es la distribución de probabilidad para dos colas. Siga las siguientes reglas al usar la tabla para establecer límites de confianza:

1. Seleccione el intervalo deseado de confianza y réstelo de 1. Esto le dará a usted el área de ambas colas fuera del intervalo de confianza. Esta área en las colas aparece sombreada en la figura B.1 y a menudo se conoce como nivel de significancia (α).

Figura B.1



2. Encuentre la columna de la tabla B.1 con encabezado del nivel apropiado de significación.
3. Determine los grados de libertad (df, por sus siglas en inglés). El df es por lo general a n − 1 o a n − 2, dependiendo de la fórmula que se utilice, donde n es el tamaño de la muestra o la cantidad de observaciones. Determine el renglón de la tabla con el df apropiado.
4. La intersección de la columna del nivel de significancia con el renglón df es el valor t, que representa la cantidad de desviaciones estándar de la media fuera de las áreas sombreadas o los límites exteriores de los intervalos de confianza.
5. El límite superior se calcula sumando el producto del valor t y la desviación estándar con la media. El límite inferior se calcula restando este producto de la media.

Ejemplo B.1

Usted tiene 25 observaciones con una media de 32 y una desviación estándar de 4.2. ¿Cuáles son los límites superior e inferior de un intervalo de confianza de 90%: $\alpha = 0.10$, $n = 25$, $\mu = 32$ y $\sigma_x = 4.2$?

1. Nivel de significancia = 0.10.
2. df = n − 2 = 25 − 2 = 23.
3. t = 1.714.
4. Límite superior $= \mu + t(\sigma_x) = 32 + 1.714(4.2) = 39.20$.
5. Límite inferior $= \mu - t(\sigma_x) = 32 - 1.714(4.2) = 24.80$.

Normalmente ocurren dos situaciones (tabla B.1) cuando se emplea la tabla de distribución t de Student:

TABLA B.1 **DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD t DE STUDENT**

df	.9	.8	.7	.6	.5	.4	.3	.2	.1	.05	.02	.01	.001
1	.158	.325	.510	.727	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	636.619
2	.142	.289	.445	.617	.816	1.061	1.386	1.886	2.910	4.303	6.965	9.925	31.598
3	.137	.277	.424	.584	.765	.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	12.941
4	.134	.271	.414	.569	.741	.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	8.610
5	.132	.267	.408	.559	.727	.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	6.859
6	.131	.265	.404	.553	.718	.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.959
7	.130	.263	.402	.549	.711	.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	5.405
8	.130	.262	.399	.546	.706	.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	5.041
9	.129	.261	.398	.543	.703	.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.781
10	.129	.260	.397	.542	.700	.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.587
11	.129	.260	.396	.540	.697	.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.437
12	.128	.259	.395	.539	.695	.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	4.318
13	.128	.259	.394	.538	.694	.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	4.221
14	.128	.258	.393	.537	.692	.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	4.140
15	.128	.258	.393	.536	.691	.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	4.073
16	.128	.258	.392	.535	.690	.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	4.015
17	.128	.257	.392	.534	.689	.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.965
18	.127	.257	.392	.534	.688	.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.922
19	.127	.257	.391	.533	.688	.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.883
20	.127	.257	.391	.533	.687	.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.850
21	.127	.257	.391	.532	.686	.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.819
22	.127	.256	.390	.532	.686	.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.792
23	.127	.256	.390	.532	.685	.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.767
24	.127	.256	.390	.531	.685	.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.745
25	.127	.256	.390	.531	.684	.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.725
26	.127	.256	.390	.531	.684	.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.707
27	.127	.256	.389	.531	.684	.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.690
28	.127	.256	.389	.530	.683	.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.674
29	.127	.256	.389	.530	.683	.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.659
30	.127	.256	.389	.530	.683	.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.646
40	.126	.255	.388	.529	.681	.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.551
60	.126	.254	.387	.527	.679	.848	1.046	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.460
128	.126	.254	.386	.526	.677	.845	1.041	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	3.373
∞	.126	.253	.385	.524	.674	.842	1.036	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.291

Fuente: Tabla III de Fisher y Yates: *Statistical Tables for Biological, Agricultural and Medical Research*, publicado por Longman Group Ltd., Londres (publicado anteriormente por Oliver y Boyd, Edinburgo), con permiso de los autores y de Addison Wesley Longman Ltd.

1. Se especifican α y df y se lee t (el número de desviaciones estándar a la derecha y a la izquierda de la media que abarca el intervalo de confianza o el área sin sombrear de la figura) partiendo del cuerpo de la tabla.
2. Se especifican df y t y se lee α de la parte superior de la tabla.

TABLA C.1 **PASOS EN EL MÉTODO DE SOLUCIÓN SÍMPLEX**

1. Formule las funciones objetivo y de las restricciones.
2. Agregue las variables de holgura para convertir cada una de las restricciones en una igualdad (=).
3. Agregue variables artificiales a las restricciones que originalmente eran ≥ o = para producir una solución inicial.
4. Establezca la primera tabla, la solución inicial.
5. Verifique la optimalidad de la solución. Si es óptima deténgase; de lo contrario, continúe.
6. Seleccione una variable a introducir para mejorar la solución.
7. Seleccione una variable para sacar de la solución.
8. Efectúe operaciones de renglón para completar la nueva solución.
9. Vuelva al paso 5 y continúe, hasta lograr la optimalidad.

EJEMPLO C.1

SOLUCIÓN SÍMPLEX DE LP-1, UN PROBLEMA DE MAXIMIZACIÓN

Como parte de su proceso de planeación estratégica, Precision Manufacturing Company debe determinar la mezcla de productos que fabricará el siguiente año. La empresa produce dos líneas principales de artículos para la industria de construcción comercial, una línea de sierras circulares portátiles de alta potencia y una línea de sierras de mesa de precisión. Las dos líneas de productos comparten la misma instalación de producción y se venden a través de los mismos canales. Aunque hay alguna variedad en el producto dentro de cada línea, la utilidad promedio es de 900 dólares para cada sierra circular y de 600 dólares para cada sierra de mesa. La capacidad de producción está restringida de dos maneras, capacidad de fabricación y de ensamble. Hay un máximo de 4,000 horas de capacidad de fabricación disponibles por mes; cada sierra circular requiere de dos horas y cada sierra de mesa de una. Hay un máximo de 5,000 horas de capacidad mensual de ensamble; cada sierra circular requiere de una hora y cada sierra de mesa requiere de dos horas. El departamento de comercialización estima que existe una demanda máxima del mercado para el siguiente año de un total de 3,500 sierras mensuales para cada línea de producto. ¿Cuántas sierras circulares y cuántas sierras de mesa deberán producirse cada mes a mes el año que viene a fin de maximizar las utilidades?

1. **Formule las funciones objetivo y de restricción.**
   LP-1 se formuló en el capítulo 6 de la forma:

$$\text{Máx } Z = 900X_1 + 600X_2$$

$$2X_1 + X_2 \leq 4{,}000 \text{ (fabricación-horas)}$$

$$X_1 + 2X_2 \leq 5{,}000 \text{ (ensamble-horas)}$$

$$X_1 + X_2 \leq 3{,}500 \text{ (mercado-sierras)}$$

   donde:

$$X_1 = \text{cantidad mensual de sierras circulares a fabricarse}$$

$$X_2 = \text{cantidad mensual de sierras de mesa a fabricarse}$$

2. **Agregue las variables de holgura para convertir cada una de las restricciones en una igualdad (=):**
   a. $2X_1 + X_2 \leq 4{,}000$ (fabricación-horas)

   Observe que el lado izquierdo de la expresión es menor que o igual al lado derecho (RHS, por sus siglas en inglés). Si la expresión debe ser una igualdad (=), debe agregarse algo del lado izquierdo para incrementar su valor hasta el nivel del RHS. Agregaremos una variable de holgura S_1 para absorber la holgura entre el valor del izquierdo y el RHS. S_1 tomará el valor 0 si el lado izquierdo es exactamente igual a 4,000, y un valor 4,000

c. *Restricciones.* El valor RHS de cada restricción se coloca en la columna RHS y los coeficientes de la variable de la restricción se colocan bajo las columnas de las variables.
d. *Función objetivo.* Los coeficientes de las variables de la función objetivo se colocan en el renglón C por encima de las columnas de variables apropiadas.
e. *Columna SOL.* Observe que la matriz sombreada bajo las columnas S_1, S_2 y S_3 representan una matriz identidad con su diagonal principal formada por unos y todos los demás elementos iguales a cero. *Las variables cuyas columnas forman la matriz identidad aparecerán siempre en la columna SOL.*

SOL	S_1	S_2	S_3
S_1	1	0	0
S_2	0	1	0
S_3	0	0	1

Esta condición será siempre cierta: *una variable que se encuentre en la columna SOL tendrá un 1 en la intersección de su hilera y de su columna, y todos los demás elementos de su columna serán cero.* Esta condición es cierta para todas las tablas. Las variables de la columna SOL se conocen como las *variables básicas* correspondientes a dicha tabla en particular. La cantidad de variables básicas es siempre igual a la cantidad de restricciones. Todas las variables que *no* se listaron en la columna SOL se conocen como *variables no básicas* para dicha tabla en particular. Las variables básicas y las no básicas cambian para cada solución distinta (tablas) conforme avanza el método símplex.
f. *Columna C.* Los ceros en la columna C y sus correspondientes S_1, S_2 y S_3 se toman de los elementos de la hilera C por encima de S_1, S_2 y S_3. Esta condición siempre será cierta: *Los valores en la columna C son los coeficientes de la función objetivo que corresponden a las variables encontradas en la columna SOL de al tabla* (es decir, las variables básicas).
g. *Hilera Z.* Todos los elementos en el renglón o columna Z se calculan, dado que los elementos de la columna C fueron cero, todos los elementos de la columna Z fueron ceros; sin embargo, los elementos en la columna C no siempre serán cero. Cada elemento de la hilera Z se calcula como sigue:

$$Z_{RHS} = (0)(4{,}000) + (0)(5{,}000) + (0)(3{,}500) = 0$$
$$Z_{X_1} = (0)(2) + (0)(1) + (0)(1) = 0$$
$$Z_{X_2} = (0)(1) + (0)(2) + (0)(1) = 0$$
$$Z_{S_1} = (0)(1) + (0)(0) + (0)(0) = 0$$
$$Z_{S_2} = (0)(0) + (0)(1) + (0)(0) = 0$$
$$Z_{S_3} = (0)(0) + (0)(0) + (0)(1) = 0$$

Este paso se verá más claro en tablas subsecuentes.
h. *Hilera (C − Z).* Estos valores se calculan restando cada uno de los elementos de la hilera Z de su contrapartida en la hilera C:

$$(C - Z)_{X_1} = 900 - 0 = 900$$
$$(C - Z)_{X_2} = 600 - 0 = 600$$
$$(C - Z)_{S_1} = 0 - 0 = 0$$
$$(C - Z)_{S_2} = 0 - 0 = 0$$
$$(C - Z)_{S_3} = 0 - 0 = 0$$

i. *La solución inicial.* Esto completa la explicación de la primera tabla. La solución de la primera tabla es:

$X_1 =$ 0 sierras circulares a fabricarse mensualmente

$X_2 =$ 0 sierras de mesa a fabricarse mensualmente

Segunda tabla

C			900	600	0	0	0	
	SOL	RHS	X_1	X_2	S_1	S_2	S_3	ϕ
900	X_1	2,000	1	½	½	0	0	
0	S_2							
0	S_3							
	Z							
		(C − Z)						

c. Convierta los demás elementos de la columna pivote (X_1) a cero. Transforme la segunda hilera en la primera tabla (5,000 1 2 0 1 0) multiplicando la hilera de la segunda tabla (2,000 1 ½ ½ 0 0) entre −1 (el negativo del valor de la columna pivote de la segunda hilera) y se añade esta hilera transicional a la segunda hilera de la primera tabla:
Multiplique la primera hilera introducida en la segunda tabla por −1:

−1(2,000) −1(1) −1(½) −1(½) −1(0) −1(0)

Esto nos da valores de

−2,000 −1 −½ −½ 0 0

que se suman a la hilera que se está transformando

5,000 1 2 0 1 0

para obtener valores de

3,000 0 3/2 −½ 1 0

La tercera hilera de la primera tabla (3,500 1 1 0 0 1) se ha transformado al multiplicar la hilera introducida en la nueva tabla (2,000 1 ½ ½ 0 0) por −1 (la negativa del valor de columna de pivote de la tercera hilera) y al sumar está hilera transicional a la tercera hilera de la primera tabla:
Multiplique la primera hilera introducida en la segunda tabla por −1:

−1(2,000) −1(1) −1(½) −1(½) −1(0) −1(0)

Esto nos da valores de

−2,000 −1 −½ −½ 0 0

que se agregan a la hilera que se está transformando

3,500 1 1 0 0 1

para obtener valores de

1,500 0 ½ −½ 0 1

d. Estas hileras se introducen en la segunda tabla en la segunda y tercera posiciones de hilera. Las variables de la columna SOL para estas hileras no cambian:

Segunda tabla (continuación)

C			900	600	0	0	0	
	SOL	RHS	X_1	X_2	S_1	S_2	S_3	ϕ
900	X_1	2,000	1	½	½	0	0	
0	S_2	3,000	0	3/2	−½	1	0	
0	S_3	1,500	0	½	−½	0	1	
	Z	1,800,000	900	450	450	0	0	
		(C − Z)	0	150	−450	0	0	

e. La hilera Z para cada columna se calcula sumando los productos de los valores de la columna C y de dicha columna como sigue:

$$Z_{RHS} = (900)(2{,}000) + 0(3{,}000) + 0(1{,}500) = 1{,}800{,}000$$

$$Z_{X_1} = (900)(1) + (0)(0) + (0)(0) = 900$$

$$Z_{X_2} = (900)(\tfrac{1}{2}) + (0)(\tfrac{3}{2}) + (0)(\tfrac{1}{2}) = 450$$

$$Z_{S_1} = (900)(\tfrac{1}{2}) + (0)(-\tfrac{1}{2}) + (0)(-\tfrac{1}{2}) = 450$$

$$Z_{S_2} = (900)(0) + (0)(1) + (0)(0) = 0$$

$$Z_{S_3} = (900)(0) + (0)(0) + (0)(1) = 0$$

La hilera (C − Z) se calcula de nuevo restando de cada elemento de la hilera Z su contrapartida en la hilera C.

f. La solución de la segunda tabla es:

X_1 = 2,000 sierras circulares a fabricarse mensualmente

X_2 = 0 sierras de mesa a fabricarse mensualmente

S_1 = 0 horas de fabricación sin utilizar por mes

S_2 = 3,000 horas de ensamble sin utilizar por mes

S_3 = demanda del mercado sin satisfacer por 1,500 sierras mensualmente

Z = $1,800,000 de utilidad mensual

Los valores de X_1, S_2, S_3 (variables básicas) y de Z se encuentran en la columna RHS del segundo cuadro. X_2 y S_1 no aparecen en la columna SOL (son variables no básicas); por lo tanto, ambas son iguales a cero. *¿Le suena familiar esta solución? Debería, porque es idéntica al punto C del ejemplo 6.4 del método gráfico.*

9. Regrese al paso 5 y continúe hasta que se logra la optimalidad:

Pasos 5, 6 y 7. Verifique la solución en función de optimalidad. En caso de ser óptima deténgase, de los contrario continúe.

Seleccione una variable para entrar en la solución. Seleccione la variable por salir de la solución:

SEGUNDA TABLA (CONTINUACIÓN)

C			900	600	0	0	0	
	SOL	RHS	X_1	X_2	S_1	S_2	S_3	ϕ
900	X_1	2,000	1	½	½	0	0	202,000/½ = 4,000
0	S_2	3,000	0	(3/2)	−½	1	0	3,000/3/2 = 2,000 ← Variable de salida
0	S_3	1,500	0	½	−½	0	1	15,000/½ = 3,000 (no negativa más pequeña)
	Z	1,800,000	900	450	450	0	0	
		(C − Z)	0	150	−450	0	0	

↑ Variable de entrada (más grande y positiva)

La segunda tabla no es óptima, ya que todos los elementos de la hilera (C − Z) no son iguales a 0 ni negativos. Se introduce X_2, y debido a que el valor ϕ para la segunda hilera es el más pequeño no negativo, S_2 sale.

10. Realice operaciones de hilera para completar la solución. (Vea la tabla C.2.)

a. El elemento pivote es 3/2 porque es el que está en la intersección de la columna de variable de la entrada y de la hilera de la variable en salida.

b. Divida la hilera pivote (segunda hilera de las restricciones de la segunda tabla) entre el elemento pivote (3/2). Introduzca esta nueva hilera en la tercera tabla en la misma posición de segunda hilera:

TABLA C.2 **PASOS EN LA EJECUCIÓN DE OPERACIONES DE RENGLÓN O HILERA**

1. Identifique el **elemento pivote** en la tabla actual, que se encuentra en la intersección de la columna de la variable de entrada y en la hilera de la variable de salida. Circule dicho elemento. Las operaciones de la hilera convierten la columna de pivote en este cuadro presente, elemento por elemento, a un nueva columna en la nueva tabla. Esta nueva columna siempre tiene estas características: el elemento pivote de la tabla actual será un *uno* en la nueva tabla y todos los demás elementos de dicha columna de la nueva tabla serán iguales a *cero*.
2. Convierta el elemento pivote en la tabla actual a 1 en la nueva tabla dividiendo la totalidad de la hilera pivote en la tabla actual por el elemento pivote (elemento por elemento). Esta nueva hilera con 1 en el elemento pivote se inserta en la nueva tabla en la misma posición de hilera que la hilera de pivote del cuadro actual.
3. Ahora convierta todos los demás elementos de la columna pivote de la tabla actual a *cero* en la nueva tabla. Esto se efectúa haciendo una operación por separado en cada una de las hileras restantes de la tabla actual. Esta operación involucra al desarrollo de una hilera transicional especial, que se añade a cada hilera restante del cuadro presente. Cada hilera de la tabla actual para la que deseamos convertir su elemento de columna pivote a 0 requiere de su propia hilera transicional única. Esta hilera transicional se desarrolla, primero, determinando el valor del elemento que deseamos transformar a 0. Entonces, tomamos el negativo del valor de ese elemento y lo multiplicamos por la nueva hilera obtenida en el paso 2 arriba (elemento por elemento). Cuando esta hilera transicional se agrega a la hilera de la tabla actual resulta una nueva hilera que tiene un 0 en la columna piloto. Esta hilera se introduce en la nueva tabla en la misma posición que ocupaba en la tabla actual antes de transformarse.

En los problemas ya sean de minimización o maximización, las restricciones de ≥ y de = se resuelven agregándoles variables artificiales. Por ejemplo, en el caso de restricciones de ≥:

$$1.\ X_1 + 2X_2 \geq 500$$
$$2.\ X_1 + 2X_2 = 500 + S_1$$
$$3.\ X_1 + 2X_2 - S_1 = 500$$
$$4.\ X_1 + 2X_2 + A_1 - S_1 = 500$$

Observe que en el paso 2 se agrega una variable de holgura (S_1) al lado derecho, que debe ser siempre menor o igual que el lado izquierdo. La adición de ese 1 al lado más pequeño de la expresión nos permite convertir el signo de ≥ al signo de =. En el paso 3 el S_1 se mueve hacia el lado izquierdo al restar S_1 de ambos lados. En el paso 4 una variable artificial A_1 se agrega en el lado izquierdo. ¿Por qué lo hacemos? La única razón es obtener una solución símplex inicial. ¿Recuerda cuando dijimos que un requisito para cada tabla era que la variable con una columna que tiene un 1 en el primer renglón y ceros en todos los demás elementos de su columna es la variable que debe colocarse en la columna SOL de la primera hilera? ¿Qué ocurre si no tiene una variable que tenga una columna que cumpla con este requisito? Esto es exactamente la situación que tenemos con restricciones ≥ o =. Una restricción ≥ tiene un coeficiente −1 para S_1 lo que no cumple con el requisito. De manera similar, un restricción = no tiene una variable de holgura (como veremos pronto); por lo tanto, aquí tampoco podremos cumplir el requisito. Cuando existen estas condiciones, debemos agregar una variable artificial a las hileras ≥ o = para cumplir con el requisito y obtener una solución inicial para completar la primera tabla. Las variables artificiales aparecen en la columna SOL del primer cuadro y después son expulsadas metódicamente de la solución en tablas subsecuentes. Las variables artificiales no tienen absolutamente ningún significado y no volveremos a preocuparnos por ellas.

Cuando ocurran restricciones =, también debe agregarse una variable artificial. Por ejemplo:

$$3X_1 + 2X_2 = 1{,}000$$
$$3X_1 + 2X_2 + A_2 = 1{,}000$$

donde:

X_1 = carros de ferrocarril de chatarra adquiridos de la fuente A por día

X_2 = carros de ferrocarril de chatarra adquiridos de la fuente B por día

1. Agregue las variables de holgura a las restricciones para convertirlos de ≥ o =:

$$\text{Mín } Z = 10{,}000X_1 + 15{,}000X_2$$
$$X_1 + 2X_2 - S_1 = 4$$
$$X_1 + X_2 - S_2 = 2\tfrac{1}{2}$$

2. Multiplique la función objetivo por −1 para convertirlo a un problema de maximización:

$$\text{Máx } Z = -10{,}000X_1 - 15{,}000X_2$$
$$X_1 + 2X_2 - S_1 = 4$$
$$X_1 + X_2 - S_2 = 2\tfrac{1}{2}$$

3. Agregue variables artificiales a las restricciones para obtener una solución inicial, e incluya todas las variables en todas las funciones:

$$\text{Máx } Z = 10{,}000X_1 - 15{,}000X_2 - MA_1 - MA_2 + OS_1 + OS_2$$
$$X_1 + 2X_2 + A_1 + OA_2 - S_1 + OS_2 = 4$$
$$X_1 + X_2 + OA_1 + A_2 + OS_1 - S_2 = 2\tfrac{1}{2}$$

4. Coloque en la primera tabla y resuelva:

Primera tabla

C			−10,000	−15,000	−M	−M	0	0	
	SOL	RHS	X_1	X_2	A_1	A_2	S_1	S_2	φ
−M	A_1	4	1	(2)	1	0	−1	0	4/2 = 2
−M	A_2	2½	1	1	0	1	0	−1	2½/1 = 2½
	Z	−6½M	−2M	−3M	−M	−M	M	M	
		(C − Z)	2M −10,000	3M −15,000	0	0	−M	−M	

← Variable de salida (más pequeña no negativa)

↑ Variable de entrada (más grande positiva) [columna X_2]

```
 −2  −½  −1  −½  0  ½   0
 2½   1   1   0  1  0  −1
 ½   ½   0  −½  0  ½  −1
```

Segunda tabla

C			−10,000	−15,000	−M	−M	0	0	
	SOL	RHS	X_1	X_2	A_1	A_2	S_1	S_2	φ
−15,000	X_2	2	½	1	½	0	−½	0	2/½ = 4
−M	A_2	½	(½)	0	−½	1	½	−1	½/½ = 1
	Z	−½M −30,000	−½M −7,500	−15,000	½M −7,500	−M	−½M +15,000	M	
		(C − Z)	½M −2,500	0	−3/2M +7,500	0	½M −15,000	−M	

← Variable de salida (más pequeña no negativa)

↑ Variable de entrada (más grande positiva) [columna X_1]

```
 −½  −½  0  ½  −1  −½  1
  2   ½  1  ½   0  −½  0
 1½   0  1  1  −1  −1  1
```

Tercera tabla

C			−10,000	−15,000	−M	−M	0	0	
	SOL	RHS	X_1	X_2	A_1	A_2	S_1	S_2	ϕ
−15,000	X_2	1½	0	1	1	−1	−1	1	
−10,000	X_1	1	1	0	−1	2	1	−2	
	Z	**−32,500**	−10,000	−15,000	−5,000	−5,000	5,000	5,000	
		(C − Z)	0	0	−M +5,000	−M +5,000	−5,000	−5,000	

La tercera tabla es óptima porque todos los elementos de la hilera (C − Z) son cero o negativos.

5. **Interprete la solución:**
La solución se deduce de las columnas SOL y RHS de la última tabla. Todas las variables que no aparecen en la columna SOL son iguales a cero.

$$X_1 = 1 \qquad X_2 = 1\tfrac{1}{2} \qquad S_1 = 0 \qquad S_2 = 0 \qquad Z = 32{,}500$$

La Gulf Coast Foundry debe de adquirir un carro al día de ferrocarril de chatarra de la fuente A y 1½ carros de ferrocarril de chatarra por día de la fuente B. El costo total de la chatarra diaria será de 32,500 dólares, y esto dará como resultado ningún excedente de plomo ni cobre por encima de los requerimientos mínimos. Observe que el método símplex no garantiza respuestas en números (enteros), generalmente esto no es una dificultad seria. En este problema, por ejemplo, un promedio de 1½ carros de ferrocarril de chatarra de la fuente B se puede resolver ya sea con tres carros de ferrocarril un día y ninguno al siguiente o dos carros de ferrocarril al día y uno al siguiente.

Tenga especial cuidado en la conversión de las restricciones ≥ a la primera forma de tabla al agregar variables artificiales y al restar las variables de holgura. Note también que los subíndices de las variables artificiales y de holgura corresponden al orden de las restricciones. A_1 y S_1 se refieren a la primera restricción, y a A_2 y S_2 corresponden a la segunda.

La complicación clave en los problemas de minimización es la inclusión más frecuente de variables artificiales. Las M negativas, números muy grandes negativos, aparecen en la hilera C y en la columna C y en consecuencia en la hilera Z y en la hilera (C − Z). Si estas M se tratan como en cualquier otro número muy grande y se suman, restan y multiplican conservando los signos apropiados, los problemas de minimización son tan simples de resolver como los de maximización.

Interpretación de las soluciones símplex

El ejemplo C.1 utilizó el método símplex para resolver el problema de LP-1. Examinemos ahora LP-1 y la última tabla de este ejemplo para determinar la información que está disponible para quienes toman las decisiones en la administración de la producción y de las operaciones. LP-1 se formuló de la siguiente forma:

$$\text{Máx } Z = 900X_1 + 600X_2$$

$$2X_1 + X_2 + S_1 = 4{,}000 \text{ (fabricación—horas)}$$

$$X_1 + 2X_2 + S_2 = 5{,}000 \text{ (ensamble—horas)}$$

$$X_1 + X_2 + S_3 = 3{,}500 \text{ (mercado—sierras)}$$

Las ventas de sierras circulares y de mesa han quedado por debajo en 500 sierras para satisfacer completamente la demanda máxima mensual de sierras; por lo que $S_3 = 500$.

Esto explica la solución a LP-1. Sin embargo, hay información adicional en el último cuadro que puede ser de utilidad a los gerentes de operaciones. Esta información se conoce como *precio sombra* y se encuentra en la hilera (C − Z).

	X_1	X_2	S_1	S_2	S_3
(C − Z)	0	0	−400	−100	0

Los ceros aparecen en las columnas X_1 y X_2 porque estas variables están en la columna de solución SOL en el último cuadro. Cuando aparecen precios sombra diferentes de cero bajo las variables X en la hilera (C − Z), esos valores indican el cambio en Z como un resultado de aumentar una unidad de una cierta variable X dentro de la solución. En los problemas de maximización, los precios sombra bajo las variables X indican cuánto se reduciría a Z mediante la introducción de una unidad de la variable X en la solución. En los problemas de minimización, los precios sombra bajo las variables X indican cuánto se incrementaría Z mediante la introducción de una unidad de la variable X en la solución.

El valor bajo una variable S en la hilera (C − Z) representa el cambio en Z proveniente del cambio de una unidad en el lado derecho de la restricción. S_1 se refiere a la primera restricción, dado que su subíndice es 1 y representa horas de fabricación. Dado que S_1 no aparece en la columna SOL, $S_1 = 0$, lo que significa que se empleó toda la capacidad de fabricación mensual. Por ejemplo, suponga que la gerencia deseaba conocer la siguiente información:

1. ¿Cuánto se incrementaría la utilidad mensual (Z) si pudiéramos encontrar una o más horas mensuales de capacidad de fabricación (4,001 en contraste con 4,000)?
2. ¿Cuánto se reducirían las utilidades mensuales (Z) si tuviéramos una hora menos de la capacidad mensual de fabricación (3,999 en contraste con 4,000)?

La respuesta a ambas preguntas se encuentra en la hilera (C − Z) y en la columna S_1: \$400. Las nuevas utilidades mensuales serían de 2,100 con 400 y 2,099 con 600, respectivamente.

El elemento en la hilera (C − Z) y en la columna S_2 indican el cambio en Z si el lado derecho de la segunda restricción se cambia por una unidad:

1. ¿Cuánto cambiaría la utilidad mensual (Z) si pudiéramos encontrar una o más horas mensuales de capacidad de ensamble (5,001 en contraste con 5,000)?
2. ¿Cuánto se reducirían la utilidad mensual (Z) si tuviéramos una hora mensual menos de capacidad de ensamble (4,999 en contraste con 5,000)?

La respuesta a ambas preguntas es 100 dólares: la nueva utilidad mensual sería de 2,100 con 100, y 2,099 con 900, respectivamente.

¿Cuánto estaríamos dispuestos a pagar para expandir en el mercado nuestras líneas de sierras a través de publicidad o promociones? La respuesta a esta pregunta —nada— se puede encontrar en la hilera (C − Z) y en la columna S_3. Esta respuesta es también obvia de la solución de LP-1. Si podemos vender 500 sierras más de lo que estamos actualmente vendiendo, entonces no pagaríamos nada para más demanda en el mercado.

Para la administración es valioso el entender los precios sombra de la hilera (C − Z). Esta información permite a los gerentes evaluar si los recursos (capacidad de producción y demanda del mercado) en este ejemplo deberán desplazarse de otros productos o proyectos. El recurso debería adquirirse si el costo de obtener una unidad de este es inferior a su precio sombra.

La interpretación de las soluciones símplex a los problemas de minimización LP es esencialmente la misma que interpretar los correspondientes a problemas de maximización. Para demostrar esta similitud, examinemos la hilera (C − Z) de la tabla óptima del problema LP-2, un problema de minimización:

	X_1	X_2	A_1	A_2	S_1	S_2
(C − Z)	0	0	−M +5,000	−M +5,000	−5,000	−5,000

$$\text{Mín } Z = 200X_1 + 140X_2 + 150X_3 + 180X_4 + 120X_5$$

$0.4X_1 + 0.3X_2 + 0.3X_3 + 0.2X_4 + 0.3X_5 \geq 5{,}000$ (Requerimiento del mercado de gasolina normal)*

$0.2X_1 + 0.3X_2 + 0.4X_3 + 0.3X_4 + 0.2X_5 \geq 3{,}000$ (Requerimiento del mercado de gasolina premium)

$0.2X_1 + 0.1X_2 + 0.3X_4 + 0.1X_5 \geq 3{,}000$ (Requerimiento del mercado de gasolina baja en plomo)

$0.1X_1 + 0.1X_2 + 0.1X_3 + 0.2X_5 \geq 2{,}000$ (Requerimiento del mercado de combustóleo diesel)

$0.1X_2 + 0.1X_3 + 0.2X_4 + 0.1X_5 \geq 1{,}000$ (Requerimiento del mercado de combustible para calefacción)

$0.1X_1 + 0.1X_2 + 0.1X_3 + 0.1X_5 \geq 2{,}000$ (Requerimiento del mercado de base de aceites lubricantes)

$X_1 \leq 8{,}000$ (Suministro de crudo de Oklahoma)

$X_2 \leq 4{,}000$ (Suministro de crudo de Texas)

$X_3 \leq 5{,}000$ (Suministro de crudo de Kansas)

$X_4 \leq 3{,}000$ (Suministro de crudo de Nuevo México)

$X_5 \leq 6{,}000$ (Suministro de crudo de Colorado)

*Todos los requerimientos y suministros en miles de galones.

En la tabla C.3. aparece una solución por computadora (última tabla).

a. ¿Qué debería hacer la gerencia? En otras palabras, para los tomadores de decisión de la gerencia, ¿cuál es el significado completo de los valores de las variables de decisión, de las variables de holgura, de las variables artificiales y de Z en la solución óptima?

b. ¿Cuál es el significado de cada uno de los elementos de la hilera (C − Z)?

Solución

a. ¿Qué debería hacer la gerencia? ¿Cuál es el significado completo de los valores de las variables?

$X_1 =$ 8,000 (adquirir ocho millones de galones de crudo de Oklahoma por mes)

$X_2 =$ 4,000 (adquirir cuatro millones de galones de petróleo crudo por mes de Texas)

$X_3 =$ 2,000 (adquirir dos millones de galones de petróleo crudo por mes de Kansas)

$X_4 =$ 1,333 ⅓ (comprar 1 ⅓ millones de galones de petróleo crudo de Nuevo México)

$X_5 =$ 6,000 (adquirir seis millones de galones de petróleo crudo por mes de Colorado)

$S_1 =$ 2,066 ⅔ (2,066,667 galones de gasolina normal en exceso se suministrarán todos los meses)

$S_2 =$ 2,200 (2,200,000 galones de gasolina premium en exceso se suministrarán mensualmente)

$S_3 =$ 0 (no habrá gasolina baja en plomo en exceso a suministrarse mensualmente)

EJEMPLO C.4

LA REGLA DE LA ESQUINA NOROESTE Y EL MÉTODO DEL ESCALÓN

Plain View Manufacturing Company tiene dos fábricas, en Amarillo y Waco, y tres almacenes en Dallas, San Antonio y Houston, todo en Texas. En meses recientes, Plain View ha sido incapaz de producir y embarcar las suficientes unidades periféricas de computación para satisfacer la demanda del mercado en los almacenes. Se propone una nueva fábrica en Huntsville, Texas, para incrementar la capacidad de la empresa. Bill Mayer, presidente de Plain View, desea determinar cuáles serán los costos de embarque mensuales de Plain View con la nueva fábrica localizada en Huntsville.

Las capacidades mensuales de las fábricas anteriores y de la nueva, los requerimientos mensuales de los almacenes y los costos de transporte por unidad de cada fábrica a cada almacén son:

Fábrica	Capacidad mensual (unidades)	Almacén	Requerimientos mensuales de los almacenes (unidades)
Amarillo	400	San Antonio	300
Waco	1,000	Dallas	900
Huntsville	600	Houston	800
Total	2,000	Total	2,000

	Costos de transporte		
	Almacén		
Fábrica	San Antonio	Dallas	Houston
Amarillo	$31	$21	$42
Waco	20	21	30
Huntsville	23	20	15

a. Utilice el método de transporte para determinar los costos totales de transporte mensuales si la nueva planta se localiza en Huntsville. **b.** ¿Cuántas unidades mensuales deberán embarcarse de cada fábrica a cada almacén una vez construida la nueva factoría? Siga los pasos de la tabla C.4 para el método de transporte. Estos pasos se ilustran en la figura C.1.

SOLUCIÓN

1. y 2. **Formule el problema en una tabla de transporte y utilice la regla de la esquina noroeste para obtener la solución inicial.** Observe que las capacidades mensuales de la fábrica se colocan del lado derecho de la tabla opuestas a la hilera apropiada de fábrica. Similarmente, los requerimientos de cada almacén se colocan a lo largo de la parte inferior de la tabla en la columna apropiada de almacén. El costo de embarque por unidad, aparece en un recuadro dentro de cada celda de fábrica/almacén. Note también que la capacidad total de todas las fábricas es igual a todos los requerimientos de los almacenes.

   Esta solución inicial muestra cuántas unidades se embarcan de cada fábrica a cada almacén. Cuando una celda está vacía, se deben embarcar 0 unidades. La solución inicial se obtiene empezando en la celda noroeste (Amarillo-San Antonio) y asignando tantas unidades como sea posible a esta celda y procediendo de la misma manera de izquierda a derecha y hacia abajo. Solamente son posibles 300 unidades en la celda Amarillo-San Antonio, porque esta cantidad satisface el requerimiento del almacén de San Antonio. Moviéndose hacia la derecha, solamente podemos asignar 100 unidades a la celda Amarillo-Dallas, porque esto completa la capacidad de la fábrica de Amarillo de 400 unidades. Acto seguido, nos movemos hacia abajo y asignamos 800 unidades a la celda Waco-Dallas, nos movemos a la derecha y asignamos 200 unidades a la celda Waco-Houston y así sucesivamente hasta que hayamos asignado las 2,000 unidades.

3. **Pruebe la optimalidad de la solución utilizando el método del escalón.** Este paso requiere la evaluación sistemática de cada una de las celdas vacías en la tabla de transportación 1 para determinar si los costos mensuales de transporte se pueden reducir moviendo unidades hacia las celdas vacías. El método de evaluación del escalón involucra los procedimientos de la tabla C.5. Como se observa en la figura C.1, la tabla de transportación 1 no es óptima porque tenemos un costo negativo del circuito para la celda Waco-San Antonio y podemos reducir costos mensuales de transporte moviendo algunas unidades a esta celda vacía.

FIGURA C.1 TABLAS DE TRANSPORTACIÓN DEL EJEMPLO C.4

Paso 1 y 2: Solución inicial utilizando la regla de la esquina noroeste

Desde \ Hacia	San Antonio	Dallas	Houston	Totales de las fábricas
Amarillo	300 [31]	100 [21]	[42]	400
Waco	[20]	800 [21]	200 [30]	1,000
Huntsville	[23]	[20]	600 [15]	600
Totales de los almacenes	300	900	800	2,000 / 2,000

Paso 3a: Primero evalúe la celda vacía Amarillo-Houston
Costo del circuito = +42 − 30 + 21 − 21 = +12. Coloque este costo en un círculo.

Desde \ Hacia	San Antonio	Dallas	Houston	Totales de las fábricas
Amarillo	300 [31]	100 [21] −	(+12) [42] +	400
Waco	[20]	800 [21] +	200 [30] −	1,000
Huntsville	[23]	[20]	600 [15]	600
Totales de los almacenes	300	900	800	2,000 / 2,000

Paso 3b: A continuación, evalúe la celda vacía Waco-San Antonio
Costo del circuito = +20 − 31 + 21 − 21 = −11. Coloque este costo en un círculo.

Desde \ Hacia	San Antonio	Dallas	Houston	Totales de las fábricas
Amarillo	300 [31] −	100 [21] +	[42]	400
Waco	(−11) [20] +	800 [21] −	200 [30]	1,000
Huntsville	[23]	[20]	600 [15]	600
Totales de los almacenes	300	900	800	2,000 / 2,000

Paso 3c: Después, evalúe la celda vacía Huntsville-San Antonio
Costo del circuito = +23 − 31 + 21 − 21 + 30 − 15 = +7. Coloque este costo en un círculo.

Desde \ Hacia	San Antonio	Dallas	Houston	Totales de las fábricas
Amarillo	300 [31] −	100 [21] +	[42]	400
Waco	[20]	800 [21] −	200 [30] +	1,000
Huntsville	(+7) [23] +	[20]	600 [15] −	600
Totales de los almacenes	300	900	800	2,000 / 2,000

Paso 3d: Después, evalúe la celda vacía Huntsville-Dallas
Costo del circuito = +20 − 21 + 30 − 15 = +14. Coloque este costo en un círculo.

Desde \ Hacia	San Antonio	Dallas	Houston	Totales de las fábricas
Amarillo	300 [31]	100 [21]	[42]	400
Waco	[20]	800 [21] −	200 [30] +	1,000
Huntsville	[23]	(+14) [20] +	600 [15] −	600
Totales de los almacenes	300	900	800	2,000 / 2,000

Paso 4: Tabla del transporte No. 1

Desde \ Hacia	San Antonio	Dallas	Houston	Totales de las fábricas
Amarillo	300 [31]	100 [21]	(+12) [42]	400
Waco	(−11) [20]	800 [21]	200 [30]	1,000
Huntsville	(+7) [23]	(+14) [20]	600 [15]	600
Totales de los almacenes	300	900	800	2,000 / 2,000

Los costos mensuales de transporte de la tabla # 1 son:

Fábrica	Almacén	Unidades a embarcarse por mes	Costos mensuales de transporte
Amarillo	San Antonio	300	$ 9,300
Amarillo	Dallas	100	2,100
Waco	Dallas	800	16,800
Waco	Houston	200	6,000
Huntsville	Houston	600	9,000
	Totales	2,000	$43,200

Paso 5: Tabla de transportación No. 2

Desde \ Hacia	San Antonio	Dallas	Houston	Totales de las fábricas
Amarillo	(+11) [31]	400 [21]	(+12) [42]	400
Waco	300 [20]	500 [21]	200 [30]	1,000
Huntsville	(+18) [23]	(+14) [20]	600 [15]	600
Totales de los almacenes	300	900	800	2,000 / 2,000

Los costos mensuales de transporte de la tabla # 2 son:

Fábrica	Almacén	Unidades a embarcarse por mes	Costos mensuales de transporte
Amarillo	Dallas	400	$ 8,400
Waco	San Antonio	300	6,000
Waco	Dallas	500	10,500
Waco	Houston	200	6,000
Huntsville	Houston	600	9,000
	Totales	2,000	$39,900

a. Si la fábrica se localiza en Huntsville, los costos totales mensuales de transporte serán de 39,900 dólares.

b. Plain View deberá hacer los siguiente embarques mensuales:

Fábrica	Almacén	Cantidad de unidades
Amarillo	Dallas	400
Waco	San Antonio	300
Waco	Dallas	500
Waco	Houston	200
Huntsville	Houston	600
Totales		2,000

El ejemplo C.4 utiliza el bien conocido **método de escalón** para determinar la optimalidad y para desarrollar soluciones mejoradas. Un método más nuevo y más frecuentemente utilizado es el **método MODI** (método de distribución modificado). Este procedimiento es similar al método del escalón, pero es más eficiente en los cálculos de costo del mejoría (costo de circuito del método de escalón para las celdas vacías).

El ejemplo C.5 utiliza el método MODI para probar la tabla de transporte 1 de la figura C.1 en lo que se refiere a la optimalidad. Antes de iniciar este ejemplo, sin embargo, sería útil que usted hiciera dos cosas: primero, repase los procedimientos del método de transporte de la tabla C.4 para tener la visión general de procedimiento de nuevo. Observe que la única manera en que el método MODI afecta a los procedimientos del método de transporte es en la prueba de cada tabla de transporte en lo que se refiere a optimalidad. Todo lo demás en el procedimiento se mantiene igual: la formulación de las tablas de transporte, utilizando ya sea las reglas de la esquina noroeste o MAV para obtener una solución inicial y el desarrollo de nuevas tablas de transporte que representen soluciones mejoradas. Después, repase el paso 3 de la figura C.1. Este paso utiliza el método del escalón para verificar la optimalidad.

EJEMPLO C.5

MÉTODO MODI DE VERIFICAR LA OPTIMALIDAD DE LAS TABLAS DE TRANSPORTE

Tabla de transporte #1

R_i \ K_j		$K_1 = 31$	$K_2 = 21$	$K_3 = 30$	
	Desde \ Hacia	San Antonio	Dallas	Houston	Totales de fábrica
$R_1 = 0$	Amarillo	300 [31]	100 [21]	(+12) [42]	400
$R_2 = 0$	Waco	(−11) [20]	800 [21]	200 [30]	1,000
$R_3 = -15$	Huntsville	(+7) [23]	(+14) [20]	600 [15]	600
	Totales de almacén	300	900	800	2,000 \ 2,000

Cálculo de R_i y K_j para las celdas llenas	**Cálculo de los costos de circuito para las celdas vacías**
$R_i + K_j = C_{ij}$, donde C_{ij} representa el costo de transporte correspondiente a la celda ij	$C_{ij} - R_i \quad - K_j$
	Amarillo–Houston
$R_1 = 0$	$= C_{13} - R_1 \quad - K_3$
$R_1 + K_1 = C_{11}$	$= 42 - 0 \quad -30 = +12$
$0 + K_1 = 31,\ K_1 = 31$	Waco–San Antonio
$R_1 + K_2 = C_{12}$	$= C_{21} - R_2 \quad - K_1$
$0 + K_2 = 21,\ K_2 = 21$	$= 20 - 0 \quad -31 = -11$
$R_2 + K_2 = C_{22}$	Huntsville–San Antonio
$R_2 + 21 = 21,\ R_2 = 0$	$= C_{31} - R_3 \quad - K_1$
$R_2 + K_3 = C_{23}$	$= 23 - (-15) - 31 = +7$
$0 + K_3 = 30,\ K_3 = 30$	Huntsville–Dallas
$R_3 + K_3 = C_{33}$	$= C_{32} - R_3 \quad - K_2$
$R_3 + 30 = 15,\ R_3 = -15$	$= 20 - (-15) - 21 = +14$

En el ejemplo C.5, primero calculamos el R_i y el K_j de la tabla. R_1 siempre se establece igual a cero, lo que nos permite calcular todos los demás valores de R_i y de K_j *para celdas llenas*. Una vez que conocemos estos valores, podemos calcular directamente los costos de circuito de las celdas vacías de la tabla de transporte, pero sin tener que dibujar los circuitos de escalón de *todas* estas celdas como en el método de escalón. A continuación, si existe cualquier costo de circuito negativo, dibujaríamos el circuito de escalón para la celda vacía que tenga el costo de circuito más negativo, igual que hicimos en la figura C.1 y desarrollaremos una nueva tabla de transporte con solución mejorada, igual que antes. Aunque el R_i y el K_j deben calcularse para cada tabla de transporte, el método MODI resulta más eficiente que el método del escalón y tiende a utilizarse con mayor frecuencia en la práctica.

La regla de la esquina noroeste nos proporciona una solución inicial a los problemas de transporte, pero una solución que es arbitraria. En la mayoría de los problemas, esto resulta en demasiadas tablas de transporte. Esta fuente de ineficiencia parecería no tener importancia después de haber elaborado el ejemplo C.4 en apenas dos tablas de transporte, pero en problemas más realistas, digamos con 25 fuentes y 40 destinos, se requería de *muchas* tablas si utilizáramos las reglas de la esquina noroeste para obtener una solución inicial. El **método de la aproximación de Vogel (MAV)** se desarrolló para tener una solución inicial más eficiente. De hecho, en muchos problemas la solución inicial es la óptima. Aunque el método MAV es más complicado que la regla de la esquina noroeste, en problemas realistas que deben resolverse manualmente, MAV es una forma mucho más práctica de obtener soluciones iniciales.

El ejemplo C.6 desarrolla una solución inicial al problema de transporte de nuestro problema anterior. Al elaborar los procedimientos del método MAV, consulte la tabla C.6, que explica los pasos del método que se aplican al ejemplo C.6. En el paso 1 del ejemplo C.6, en el ejemplo la hilera y columna D_1 se completan primero. Estos valores representan la diferencia entre el costo unitario más bajo y el siguiente costo unitario más bajo para cada hilera y columna. En el paso 2, la columna de Houston tiene la diferencia más grande en la primera iteración y es la que se selecciona. En el paso 3, la celda Huntsville-Houston tiene el costo unitario más bajo dentro de la columna de Houston y, por lo tanto, asignamos 600 unidades a dicha celda, que es lo máximo posible. Dado que se asignó toda la hilera de Huntsville, se puede trazar la línea atravesando la hilera para eliminarla de cálculos posteriores. Con esto se completa la primera iteración.

TABLA C.6 **PASOS DEL MÉTODO MAV**

1. Para cada hilera y columna de la tabla de transporte, calcule la diferencia entre el costo de la unidad más bajo y el siguiente costo de unidad más bajo y registre la diferencia. Coloque las diferencias y las hileras en una columna a la derecha de la tabla bajo el encabezado de D_i y las diferencias de columna en una hilera a través de la parte inferior de la tabla con un encabezado D_i donde *i* representa la cantidad de veces que se ha hecho este paso.
2. Seleccione la hilera o la columna con la diferencia más grande. Si hay empates, seleccione arbitrariamente entre valores iguales.
3. Asigne tantas unidades como sea posible a la celda con el costo más bajo en la hilera o columna seleccionada al paso 2.
4. Si las unidades en una hilera o columna se han agotado en el paso 3, se puede eliminar esta hilera o columna de consideración posterior en cálculos subsecuentes cruzándola con una línea.
5. Cuando las diferencias no se pueden calcular en el paso 1, porque solamente queda una hilera o una columna, no se trata de una situación fuera de lo común como cuando llegamos cerca del final del proceso. Calcule las diferencias que resulten posibles de hacerlo y continúe.
6. Regrese al paso 1 y continúe hasta que las unidades de todas las hileras o columnas hayan sido asignadas.

La razón por la que el método MAV da como resultado mejores soluciones iniciales que la regla de la esquina noroeste es que ésta no toma en consideración ninguna información de costo cuando se determina la solución inicial: las unidades se asignan arbitrariamente en una diagonal noroeste e independientemente de los costos. En el método MAV, en cambio se aplica un principio de costo de oportunidad. En cada iteración, la diferencia entre el costo unitario más bajo y el siguiente es el costo de oportunidad de no asignar unidades a una hilera o columna. Al seleccionar la diferencia más grande, se evita el mayor costo de oportunidad. Al considerar los costos de asignaciones alternativas, el método MAV da como resultado soluciones iniciales muy buenas que a veces son óptimas, particularmente en problemas símplex.

PROBLEMAS DESBALANCEADOS

El ejemplo C.4 involucró un problema donde la cantidad total de unidades por embarcarse de las fuentes, es exactamente igual a las unidades requeridas en los destinos. Lo que se conoce como un **problema de transporte balanceado** y no es extraño encontrarse con un **problema de transporte desbalanceado**, donde la cantidad de unidades que se pueden embarcar de las fuentes, excede al número requerido de los destinos o viceversa. La figura C.2 es la tabla de transportación optimal de un problema de transporte desbalanceado de este tipo.

Se introduce en la tabla una columna de destino ficticia para considerar la diferencia entre las necesidades de destino y los embarques de las fuentes. Observe que el costo de embarque de cualquier fuente ficticia de destino es cero, la única función que tiene el destino ficticio es balancear el problema. La interpretación de las 2,000 unidades de la fuente C al destino falso, es que no se ambarcarán 2,000 unidades de la capacidad de la fuente C. La columna del destino ficticio, por lo tanto, tienen el mismo propósito que las variables de holgura en el método símplex, todos los demás procedimientos de solución (la regla de la esquina noroeste, MAV, el método del escalón y el método MODI) antes analizados se siguen para resolver los problemas de transportes desbalanceados. La interpretación de la solución final es exactamente la misma en el caso de problemas balanceados o desbalanceados, con excepción de la interpretación correspondiente a la hilera o columna ficticia.

DEGENERACIÓN

La **degeneración** es otra complicación que se puede encontrar en los problemas de transporte. La cantidad de celdas ocupadas en una tabla de transporte debe ser igual al número de fuentes más la cantidad de destinos menos 1; por lo tanto, en el ejemplo C.4 todas las tablas de transportación

FIGURA C.2 UN PROBLEMA DE TRANSPORTE DESBALANCEADO

Desde \ Hacia	1		2		3		Destino falso		Totales de las fuentes
A		3.5	1,000	2.0		4.0		0	1,000
B		4.0	2,000	2.5	3,000	1.5		0	5,000
C	1,000	2.0	1,000	3.0		3.0	2,000	0	4,000
Totales de los destinos	1,000		4,000		3,000		2,000		10,000 / 10,000

siempre tenían cinco celdas ocupadas (3 fuente + 3 destinos − 1 = 5). Aparece la degeneración cuando hay menos de este número mínimo de celdas ocupadas. La degeneración, si está presente, interfiere con el trazo de los circuitos de escalón y cuando se utiliza el método del escalón, o imposibilita los cálculos de R_i y de K_j si se utiliza el método MODI para verificar la optimalidad de las tablas de transporte. Por lo tanto, se requieren procedimientos especiales para resolver estos problemas.

Si hay degeneración en la solución inicial de la tabla de transporte después de emplear el método MAV o las regla de la esquina noroeste, se asigna un cero a una de las celdas vacías. Esta celda es, por lo general, una que crea una cadena continua de celdas ocupadas cuando se recorre la tabla de transporte desde el noroeste hasta el sureste. La celda cero se trata como una celda ocupada con cero unidades ocupando la celda cuando se dibujan los circuitos de escalón o se calcula R_i o K_j. Esto es análogo a que la variable esté en la solución, pero con un valor cero con el método símplex. Esta manipulación nos permite completar nuestra verificación de optimalidad, sin modificar la naturaleza del problema de transporte.

Cuando la degeneración ocurre en las tablas de transporte más allá de la solución inicial, se utiliza un procedimiento ligeramente distinto. La figura C.3 muestra las tablas de transporte 1 y 2 de un problema de transporte donde hay degeneración. Observe que la solución inicial de este problema tiene seis celdas ocupadas, exactamente el mínimo requerido (3 fuentes + 4 destinos − 1 = 6). El circuito de escalón de las celdas San Diego-Seattle (superpuesta en la tabla de transporte #1) tiene el costo de circuito más negativo de cualquier celda vacía de esta tabla y debe desarrollarse una solución mejorada a partir de este circuito. Recuerde que primero identificamos el número más pequeño de unidades en las celdas negativas (5,000 unidades) y entonces restamos este número de todas las celdas negativas y las sumamos a todas las celdas positivas de todo el circuito.

Normalmente, este procedimiento hace que una celda ocupada pase a cero unidades, pero en este circuito tanto las celdas Miami-Seattle como Chicago-Denver se hacen cero, lo que causa que la solución en la tabla de transporte # 2 sea degenerada, una condición semejante a un empate para las variables de salida en el método símplex. Manejamos esta situación degenerada en el método de transporte asignando cero unidades a cualquiera de las celdas reducidas a cero unidades. En la figura C.3, el cero se asigna ya sea a la celda Miami-Seattle o a la celda Chicago-Denver. El cero se trata entonces como una celda ocupada, pero con cero unidades, al aplicar ya sea el método del escalón o el de MODI de verificar las tablas subsecuentes de transporte en función de su optimalidad. Todos los demás procedimientos del método de transporte se siguen como antes.

Cuando se eliminan más de dos celdas ocupadas, debe asignarse más de un cero para superar la situación de degeneración. Agregue suficientes celdas cero al número ocupado de celdas, de manera que las celdas ocupadas sea igual al número de fuentes, más la cantidad de destinos, menos

FIGURA C.4 TABLAS DEL MÉTODO DE ASIGNACIÓN DEL EJEMPLO C.7

Paso 1

Centros de trabajo

Tareas	1	2	3	4	5
A	$150	$300	$225	$350	$250
B	300	200	400	300	250
C	150	100	100	200	150
D	300	100	200	250	200
E	150	350	230	375	260

Paso 2

Centros de trabajo

Tareas	1	2	3	4	5
A	0	150	75	200	100
B	100	0	200	100	50
C	50	0	0	100	50
D	200	0	100	150	100
E	0	200	80	225	110

Paso 3

Centros de trabajo

Tareas	1	2	3	4	5
A	0	150	75	100	50
B	100	0	200	0	0
C	50	0	0	0	0
D	200	0	100	50	50
E	0	200	80	125	60

Paso 4

Centros de trabajo

Tareas	1	2	3	4	5
A	0	150	75	100	50
B	100	0	200	0	0
C	50	0	0	0	0
D	200	0	100	50	50
E	0	200	80	125	60

Paso 5

Centros de trabajo

Tareas	1	2	3	4	5
A	0	100	25	50	0
B	150	0	200	0	0
C	100	0	0	0	0
D	250	0	100	50	50
E	0	150	30	75	10

Las celdas cero del paso 5 de la figura C.4 indican estas asignaciones:

Asignaciones posibles		Asignación óptima		
Tarea	**Centros de trabajo**	**Tarea**	**Centros de trabajo**	**Costos de procesamiento (de la primera tabla)**
A	1 o 5	A	5	$250
B	2, 4 o 5	B	4	300
C	2, 3, 4 o 5	C	3	100
D	2	D	2	100
E	1	E	1	150
			Costo total	$900

PREGUNTAS DE REPASO Y ANÁLISIS

1. ¿En qué parte de la tabla símplex óptima se encuentra la solución a la programación lineal?
2. ¿Dónde están los precios sombra en la tabla símplex óptima?

SEGUNDA TABLA

C			−30	−40	−M	−M	0	0	0	
	SOL	RHS	X_1	X_2	A_1	A_2	S_1	S_2	S_3	ϕ
−40	X_2	30	$\frac{1}{2}$	1	$\frac{1}{2}$	0	$-\frac{1}{2}$	0	0	
−M	A_2	50	$\frac{9}{2}$	0	$-\frac{5}{2}$	1	$\frac{5}{2}$	−1	0	
0	S_3	20	$\frac{3}{2}$	0	$-\frac{1}{2}$	0	$\frac{1}{2}$	0	1	
	Z	−50M −1,200	$-\frac{9}{2}$M −20	−40	$\frac{5}{2}$M −20	−M	$-\frac{5}{2}$M +20	M	0	
		(C − Z)	$\frac{9}{2}$M −10	0	$-\frac{7}{2}$M +20	0	$\frac{5}{2}$M −20	−M	0	

(Los problemas LP-A, B, C, D, E, F, G, H, I y J se encuentran al final del capítulo 6.)

4. Resuelva LP-A utilizando el método símplex. ¿Cuál es la solución óptima?
5. Resuelva LP-B utilizando el método símplex. ¿Cuál es la solución óptima?
6. Resuelva LP-C utilizando el método símplex. ¿Cuál es la solución óptima?
7. Resuelva LP-D utilizando el método símplex. ¿Cuál es la solución óptima?
8. Resuelva LP-E utilizando el método símplex. ¿Cuál es la solución óptima? (*Sugerencia:* convierta la función objetivo a centavos.)
9. Resuelva LP-G utilizando el método símplex. ¿Cuál es la solución óptima?
10. Resuelva LP-H utilizando el método símplex. ¿Cuál es la solución óptima?
11. Resuelva LP-I utilizando el método símplex. ¿Cuál es la solución óptima? Interprete totalmente el significado de la solución.
12. A continuación está la definición de las variables y la última tabla (óptima) del problema LP-A:
    a. ¿Qué deberá hacer la gerencia? En otras palabras, para quienes toman las decisiones en la gerencia, ¿cuál es el significado completo de los valores X_1, X_2, S_1, S_2 y Z en la tabla óptima?
    b. ¿Cuál es el significado de cada elemento de la hilera (C − Z)?

X_1 = acres de maíz por plantarse esta temporada
X_2 = acres de trigo por plantarse esta temporada
S_1 = acres de tierra no utilizada adecuada para maíz
S_2 = acres-pies de agua sin utilizar
Z = dólares de utilidad por temporada

PRIMERA TABLA

C			400	250	0	0	
	SOL	RHS	X_1	X_2	S_1	S_2	ϕ
0	X_1	500	1	0	1	0	
0	X_2	850	0	1	−1.5	2	
	Z	412,500	400	250	25	500	
		(C − Z)	0	0	−25	−500	

13. A continuación aparecen las definiciones de las variables y la última tabla (óptima) del problema LP-B:
    a. ¿Qué deberá hacer la gerencia? En otras palabras, para quienes toman las decisiones de la gerencia, ¿cuál es el significado de los valores de X_1, X_2, S_1, S_2 y Z de la solución óptima?
    b. ¿Cuál es el significado del elemento de la hilera (C − Z)?

Tabla óptima

C			−6	−8	−M	−M	0	0	
	SOL	**RHS**	X_1	X_2	A_1	A_3	S_2	S_3	ϕ
0	S_3	**100**	0	0	1	−1	−1	1	
−6	X_1	**800**	1	0	0	0	1	0	
−8	X_2	**700**	0	1	1	0	−1	0	
	Z	**−10,400**	−6	−8	−8	0	2	0	
		(C − Z)	0	0	−M+8	−8	−2	0	

16. A continuación aparecen las definiciones de las variables y la última tabla (óptima) del problema LP-E:
    a. ¿Qué deberá hacer la gerencia? En otras palabras, para quienes toman las decisiones en la gerencia, ¿cuál es el significado de los valores de X_1, X_2, S_1, S_2, S_3 y Z de la tabla óptima?
    b. ¿Cuál es el significado de cada elemento del renglón (C − Z)?

X_1 = libras de avena como alimento por cada cabeza de ganado por día
X_2 = libras de maíz como alimento por cada cabeza de ganado por día
S_1 = unidades de mineral sin utilizar requeridas para cada cabeza de ganado por día
S_2 = calorías sin utilizar requeridas por cada cabeza de ganado por día
S_3 = unidades sin utilizar de vitaminas requeridas por cada cabeza de ganado por día
Z = centavos diarios de utilidad por cabeza de ganado

Cuarta tabla

C			10	6	−M	−M	−M	0	0	0	
	SOL	**RHS**	X_1	X_2	A_1	A_2	A_3	S_1	S_2	S_3	ϕ
10	X_1	**17.5**	1	0	3/400	−1/400	0	−3/400	1/400	0	
0	S_3	**750**	0	0	−1/4	3/4	−1	1/4	−3/4	1	
6	X_2	**15**	0	1	−1/200	1/200	0	1/200	−1/200	0	
	Z	**265**	10	6	9/200	1/200	0	9/200	1/200	0	
		(C − Z)	0	0	9/200 −M	1/200 −M	0	9/200	1/200	0	

17. En la siguiente página aparece la solución por computadora al problema LP-F proporcionada por el *Prom Computer Library.*
    a. ¿Qué deberá hacer la gerencia? En otras palabras, para los tomadores de decisiones de la gerencia, ¿cuál es el significado de los valores de las variables de decisión, de las variables de holgura y de Z en la solución óptima?
    b. ¿Cuál es el significado de cada valor en la sección de análisis de sensibilidad de la solución?

18. A continuación aparecen las definiciones de las variables y la última tabla (óptima) del problema LP-G:
    a. ¿Qué deberá hacer la gerencia? En otras palabras, para los que toman la decisión en la gerencia, ¿cuál es el significado de los valores X_1, X_2, S_1, S_2, S_3 y Z en la tabla óptima?
    b. ¿Cuál es el significado de cada elemento de la hilera (C − Z)?

X_1 = cantidad de válvulas de compuerta para producir por semana
X_2 = cantidad de válvulas cónicas para producir por semana
S_1 = horas del departamento de fundición sin utilizar por semana
S_2 = horas del departamento de maquinado sin utilizar por semana
S_3 = horas del departamento de forja sin utilizar por semana
Z = dólares de utilidad por semana

```
MIN Z = 5.4 X 1 + 6.2 X 2  + 4.1 X 3  + 4.9 X 4
      + 4.0 X 5 + 7.1 X 6  + 5.6 X 7  + 3.9 X 8
      + 4.5 X 9 + 5.2 X 10 + 5.5 X 11 + 6.1 X 12
 1 X 1 + 1 X 2  + 1 X 3  + 1 X 4  <= 15000
 1 X 5 + 1 X 6  + 1 X 7  + 1 X 8  <= 10000
 1 X 9 + 1 X 10 + 1 X 11 + 1 X 12 <= 15000
         1 X 1 + 1 X 5  + 1 X 9  >= 10000
         1 X 2 + 1 X 6  + 1 X 10 >= 8000
         1 X 3 + 1 X 7  + 1 X 11 >= 12000
         1 X 4 + 1 X 8  + 1 X 12 >= 10000
```

*** SOLUTION ***

VARIABLE MIX	SOLUTION
X 4	3000.00
X 5	3000.00
X 10	8000.00
X 9	7000.00
S 1	0.00
X 3	12000.00
X 8	7000.00
Z	176300.00

*** SENSITIVITY ANALYSIS ***

CONSTRAINTS

CONSTRAINT NUMBER	TYPE OF CONSTRAINT	SHADOW PRICE	RANGE OF RHS FOR WHICH SHADOW PRICE IS VALID
1	<=	0	15000 – – +INF
2	<=	1	10000 – – 13000
3	<=	0.5	15000 – – 18000
4	>=	5	7000 – – 10000
5	>=	5.7	5000 – – 10000
6	>=	4.1	0 – – 12000
7	>=	4.9	7000 – – 10000

NOTE: THE SHADOW PRICE REPRESENTS THE AMOUNT Z WOULD CHANGE IF A CONSTRAINT'S RHS CHANGED ONE UNIT.

DECISION VARIABLES

NONBASIC VARIABLE	AMOUNT Z IS REDUCED (MAX) OR INCREASED (MIN) FOR ONE UNIT OF X IN THE SOLUTION
X 1	.4000001
X 2	0.5
X 6	2.4
X 7	2.5
X 11	1.9
X 12	1.7

PRIMERA TABLA

C			1,800	2,600	0	0	0	
	SOL	RHS	X_1	X_2	S_1	S_2	S_3	ϕ
0	S_1	16	0	0	1	−1/3	−3/10	
1,800	X_1	6	1	0	0	1/8	−1/20	
2,600	X_2	8	0	1	0	0	1/10	
	Z	31,600	1,800	2,600	0	225	170	
		(C − Z)	0	0	0	−225	−170	

Método de transporte

19. a. Utilice la regla de la esquina noroeste y el método del escalón para resolver el problema de transporte que se muestra a continuación.

Desde \ Hacia	1	2	3	Totales de las fuentes
A	$0.80	$0.40	$0.70	300
B	0.90	0.50	0.80	300
C	0.60	0.70	0.60	400
Totales de los destinos	200	500	300	1,000 / 1,000

b. ¿Cuál es la solución óptima?
c. Interprete el significado de la solución.

20. The Apex Company produce transformadores eléctricos para distribuidores eléctricos en dos fábricas localizadas en Atlanta y San José. Apex tiene cuatro almacenes regionales localizados en Dallas, Seattle, Filadelfia y Chicago. Los requerimientos mensuales de los almacenes, las capacidades mensuales de las fábricas y los costos unitarios de transporte son:

Fábrica	Capacidad mensual de la fábrica (unidad)
Atlanta	2,000
San José	3,000

Almacén	Requerimientos mensuales de los almacenes (unidades)
Dallas	1,300
Seattle	1,200
Filadelfia	1,400
Chicago	1,100

Fuentes	Destino	Costo de transporte por unidad
Atlanta	Dallas	$16
	Seattle	40
	Filadelfia	20
	Chicago	18
San José	Dallas	30
	Seattle	15
	Filadelfia	45
	Chicago	33

a. Utilice la regla de la esquina noroeste y el método del escalón para resolver el problema de transporte que se menciona arriba.
b. ¿Cuál es la solución óptima?
c. Interprete el significado de la solución.

21. a. Resuelva el problema LP-F utilizando la regla de la esquina noroeste y el método del escalón. ¿Cuál es la solución óptima? Interprete el significado de la solución.
b. Resuelva el problema LP-F utilizando los métodos MAV y MODI. ¿Cuál es la solución óptima? Interprete el significado de la solución.

CAPÍTULO 7

(1) a. 8,044 cascos; b. $796,356; c. $160,000; d. $108.34. • **(3)** b. Remodelar la tienda; c. $1.5 millones; $.5 millones; o ($.3) millones. • **(5)** b. Construir planta grande; c. $10 millones; $ 5 millones; o $3 millones. • **(7)** 4.2 años. • **(9)** Retribución = 13.6 años, rente el edificio. • **(11)** a. San Antonio en el Año 1, Dallas en el Año 3 y más allá; b. San Antonio, 0 − 6,500, y Dallas 6,500 +. • **(13)** L_4: $X_1, X_2, X_3 \ldots X_{12}$ = cantidad de viajes anualmente de la subestación i (1, 2, 3 y L_4) al Centro Constituyentes j (A, B y C); Mín $Z = 41X_1 + 15X_2 + 21X_3 + 31X_4 + 22X_5 + 16X_6 + 11X_7 + 29X_8 + 24X_9 + 14X_{10} + 25X_{11} + 23X_{12}$; $X_1 + X_2 + X_3 \leq 1{,}000$; $X_4 + X_5 + X_6 \leq 2{,}000$; $X_7 + X_8 + X_9 \leq 1{,}000$; $X_{10} + X_{11} + X_{12} \leq 2{,}000$; $X_1 + X_4 + X_7 + X_{10} \geq 1{,}500$; $X_2 + X_5 + X_8 + X_{11} \geq 2{,}000$; $X_3 + X_6 + X_9 + X_{12} \geq 2{,}000$; L_5: $X_1, X_2, X_3 \ldots X_{12}$ = cantidad de viajes anualmente de la subestación i (1, 2, 3 y L_5) al Centro Constituyentes j (A, B, y C); Mín $Z = 41X_1 + 15X_2 + 21X_3 + 31X_4 + 22X_5 + 16X_6 + 11X_7 + 29X_8 + 24X_9 + 26X_{10} + 17X_{11} + 12X_{12}$; $X_1 + X_2 + X_3 \leq 1{,}000$; $X_4 + X_5 + X_6 \leq 2{,}000$; $X_7 + X_8 + X_9 \leq 1{,}000$; $X_{10} + X_{11} + X_{12} \leq 2{,}000$; $X_1 + X_4 + X_7 + X_{10} \geq 1{,}500$; $X_2 + X_5 + X_8 + X_{11} \geq 2{,}000$; $X_3 + X_6 + X_9 + X_{12} \geq 2{,}000$; c. L_4: Z = 90,000 minutos anuales, L_5: Z = 86,000 minutos anuales; e. 1,000 de 1 a B, 1,500 de 2 a C, 1,000 de 3 a A, 500 de L_5 a A, 1,000 de L_5 a B, y 500 de L_5 a C. • **(17)** $LS_{kc} = 0.895$, $LS_a = 0.834$; Kansas City se prefiere sobre Atlanta cuando se toman en consideración tanto factores económicos como cualitativos.

CAPÍTULO 8

(5) Disposición física A: $1,970 por mes, disposición B: $2,000 por mes; se prefiere la disposición física A. • **(7)** disposición física I: 727.2 miles de pies anuales, disposición física II; 729.4 miles de pies anuales. • **(9)** (A), (B,C,D), (E,F,G,H), (I,J); 32 estaciones de trabajo; 97.2%. • **(11)** b. 0.333 minutos por unidad; c. 3.51 estaciones de trabajo; d. (A,B), (C,D), (E,F,G,H), (I,J); 87.75%. • **(13)** a. (A), (B,C,D), (E,F,G,H), (I,J), cuatro centros de trabajo y 32 estaciones de trabajo, 97.2%. • **(15)** a. sí, intercambie lugares con B y F.

CAPÍTULO 9

(1) Q_{1t} = 84 empleados, $Q_{1p} = 74$, $Q_{1r} = 30$, $Q_{1tot} = 188$; $Q_{2t} = 90$, $Q_{2p} = 70$, $Q_{2r} = 20$, $Q_{2tot} = 180$; $Q_{3t} = 104$, $Q_{3p} = 100$, $Q_{3r} = 40$, $Q_{3tot} = 244$; $Q_{4t} = 80$, $Q_{4p} = 70$, $Q_{4r} = 20$, $Q_{4tot} = 170$. • **(3)** a. Q_1 = 22.0 miles de toneladas, $Q_2 = 21.0$, $Q_3 = 21.0$, $Q_4 = 31.0$; b. Q_1 = 110 miles de horas, $Q_2 = 105$, $Q_3 = 105$, $Q_4 = 155$; c. Q_1 = 211.5 empleados, $Q_2 = 201.9$, $Q_3 = 201.9$, $Q_4 = 298.1$. • **(5)** Plan 2, $395,000 en comparación con $396,000. • **(7)** Plan al nivel, $206,250 en comparación con $258,000. • **(9)** Costos de nivel $31,250; costos de coincidencia $40,500. • **(11)** Costos del plan de tiempo extraordinario $337,500; Costos de plan de subcontratación $300,000. • **(13)** Inventario final MPS en semanas 1-10: 500; 1,500; 500; 1,500; 500; 1,500; 500; 1,500; 500; 1,500. • **(15)** a. Carga total = 109,250 horas, Capacidad total = 120,000 horas; b. Sí, pero, existe baja carga en las semanas 1, 2, 5 y sobrecarga en las semanas 3,4, 6; c. Mueva parte de la producción de las semanas 3, 4, 6 a las semanas 1, 2, 5. • **(17)** A: 5,000 en las semanas 1, 3 y 6; B: 8,000 en las semanas 1, 3, 4, 7 y 8, y 8,600 en la semana 6; C: 2,000 en las semanas 1, 3, 4 y 7.

CAPÍTULO 10

(1) a. 5,200.52; b. 11,441.16; c. 117.17. • **(3)** a. $1,286,953.80; b. $102,956.30; c. 13.4 días. • **(5)** EOQ se reduce 15% y TSC se incremente 27%. • **(7)** a. 51,639.778 barriles; b. $145,236.88; c. 10.3 días; d. 25,819.89 barriles. • **(9)** a. $2,063,174.80; b. 1,275.96 ventanas; c. 9.3 días. • **(11)** a. 812.5992 cajas; b. $220,959.68; c. 707.27682; d. $219,156.86; e. sí, ahorros = $1,802.82 al año. • **(13)** a. 96 cojinetes; b. 17.46. • **(15)** a. OP = $180,800; b. SS = $20,800. • **(17)** a. SS = 150 unidades; b. OP = 1,150 unidades; c. SS = 31.6 unidades, d. OP = 1,031.6 unidades. • **(19)** a. T = 0.0632 años, es decir 23.1 días; b. TSC = 41,434.17. • **(21)** a. 300 onzas; b. EVPI = 3,600. • **(23)** $400,000.

CAPÍTULO 15

(7) Fabricar; $TC_{comprar}$ = \$502,500; $TC_{comprar}$ = \$493,500. • **(9)** a. Fabricar en casa, TS_{ac} = \$1,160,000; b. Diamond Ltd.: 0-43,694.90 unidades, Chicago West: 43,694.90-49,797.2 unidades. Fabricar en casa, 49,797.2 o más unidades. • **(11)** b. Presentar propuesta para un nivel medio de financiamiento. Si ganan el contrato deben desarrollar un producto comercial; c. EV = \$172,000. • **(13)** Calificación Samsing = 0.754, calificación Panasenic = 0.730, calificación Hatuchi = 0.780; Hatuchi es el proveedor preferido. • **(15)** b. 500 unidades en la semana 1 y en la semana 2. • **(17)** a. 18,000 unidades de 1 a D, 7,000 unidades de 1 a E, 1,000 unidades de 2 a A, 15,000 unidades de 2 a B, 13,000 unidades de 2 a E, 11,000 unidades de 2 a F, 8,000 unidades de 3 a A, 12,000 unidades de 3 a C; b. 287,700. • **(21)** a. 23.5, es decir 24 contadores; b. \$600,000; c. 41 contadores; d. \$425,000.

CAPÍTULO 16

(3) a. Los remedios están clasificados en este orden: capacitación de supervisores, rotación de puestos, enriquecimiento del puesto, y permiso fuera del trabajo. • **(11)** a. 6.27 minutos por cien cartas; b. 76.56 cientos de cartas; c. \$1.568 por ciento de cartas. • **(13)** a. 1: 0.10625 minutos, 2: 2.8125, 3: 3.80875, 4: 0.65000; b. 1: 0.12219 minutos, 2: 3.51563, 3: 3.61831, 4: 0.65000; c. 0.2083; d. 9.986 minutos. • **(15)** 400. • **(17)** .2173. • **(19)** a. 4.007 minutos por producto; b. 4.714 minutos por producto. • **(21)** a. \$8.913 por unidad; b. \$1,782.62. • **(23)** a. 18.55 minutos; b. 297.6 minutos, es decir 4.96 horas. • **(25)** a. 77.55 minutos; b. 4,715.7 minutos, es decir 78.595 horas; c. 85%, y 4,312.1 minutos, es decir 71.868 horas.

CAPÍTULO 17

(1) a. 0.995; b. 0.985. • **(3)** a. 0.8658; b. 0.9351. • **(5)** No, el PCI debe ser ≥ 1.00 para procesos de producción que tengan la capacidad de cumplir con los requisitos de los requerimientos del cliente. • **(7)** 0.083 onzas.

CAPÍTULO 18

(1) 0 y 7.70%. • **(3)** a. 2.5%; b. 0 y 5.812%. • **(5)** a. 0.728 y 9.272%; c. La cantidad de fallas académicas se está reduciendo. • **(7)** a. 11.46 y 12.54 pulgadas; c. No, la media de la muestra en pulgadas es errática y el proceso está fuera de control del lado alto. • **(9)** a. 11.617 y 12.383 horas; c. Sí, el proceso parece estar en control, aunque ciertas muestras están más allá de los límites, pero no parece que haya situaciones fuera de control. • **(11)** a. 15.91 y 16.09 onzas; b. 0.793 y 0.207 onzas; c. Las gráficas indican que la variación de muestras internas y la variación de muestras externas está en control. • **(13)** α = 19.12% β = 9.16%. • **(15)** a. n = 95, c = 2, AOQL = 0.99. • **(17)** No rechace el lote, p = 2.5% y criterio de aceptación = 2.563%. • **(19)** Rechace lote, p = 0.5%, el criterio de aceptación = 1.318%. • **(21)** No rechace el lote, 54.5 toneladas caen dentro de los criterios de aceptación de 54.423 y 55.577.

CAPÍTULO 19

(1) Actividad F, prueba de campo, está completa y está con adelanto de 2 semanas sobre el programa; la actividad G, diseño de producción, tiene un atraso de 2 semanas. • **(3)** Los juegos de transistores para producción se empezaron con un mes de retraso, están aproximadamente un mes atrasados contra el programa, y se proyecta que se entrega en 2 meses posteriormente. El chasis de producción se inició con un mes de anticipación y está con un adelanto de un mes sobre el programa y estamos proyectando entregar en plazo. • **(5)** 10 semanas. • **(7)** La trayectoria b-d-j es la trayectoria crítica, 33 días. • **(9)** d. La trayectoria b-d-g-i, 42 días. • **(11)** d. La trayectoria b-d-f-g-j-k, 32 días. • **(13)** a. 17.17; b. .694; c. .83. • **(15)** Duración de la trayectoria = 53.66 días, variación de la trayectoria = 2.610. • **(17)** e. Trayectoria b-d-g-i, 42 días; f. 0.00539 es decir 0.539%. • **(19)** Trayectoria 1. • **(21)** Las actividades aceleradas b,g, e y; 38 días, además de 5,300.

CAPÍTULO 20

(1) 4.5 máquinas por hora. • **(3)** a. 18.03 minutos; b. 140.4 pies cuadrados. • **(5)** 70 sellos, $360,50. • **(7)** realice mantenimiento preventivo cada 2 meses; costo esperado de esta política es $2,500 por mes. • **(9)** Lleve a cabo mantenimiento preventivo cada 60,000 millas; costo esperado de esta política es de $20.87 por cada 1,000 millas. • **(11)** a. 99.5%; b. 97.0%. • **(13)** a. 0.902; b. 0.965. • **(15)** d. Trayectoria a-b-h-j y 52 días.

APÉNDICE C

(1) El tercer cuadro es óptimo; X_2 = 68.75, X_1 = 12.5, Z = 5,656.25. • **(3)** El tercer cuadro no es óptimo; X_1 entrará y S_3 saldrá. • **(5)** X_1 = 175 cientos de galones de helado de primera calidad, X_2 = 175 cientos de galones de helado ligero, S_1 = 0 capacidad de mezcla sin utilizar, S_2 = 0 leche de primera calidad sin utilizar, Z = $35,000 de utilidad la semana que viene. • **(7)** X_1 = 800 toneladas de arena, X_2 = 700 toneladas de grava, S_2 = 0 por lo que exactamente 40% de concreto es arena, S_3 = 100 por lo que la cantidad de grava en el concreto excedía el requisito de 30% en 100 toneladas, Z = $10,400 costo total de la arena y de la grava diaria. • **(9)** e. X_1 = 6 válvulas compuerta para producirse a la semana, X_2 = 8 válvulas compuestas a producirse por semana, S_1 = 16 horas de capacidad sin utilizar de fundición por semana, S_2 = 0 horas de capacidad sin utilizar de maquinado por semana, S_3 = 0 horas de capacidad de forjas sin utilizar por semana, y Z = $31,600 utilidad por semana. • **(11)** X1 = 500,000 libras de base, X_2 = 100,000 mil libras de relleno/color, X_3 = 100,000 libras de adhesivo, Z = $370,000, S_1, S_{12} y S_3 = 0. • **(13)** a. Fabrique 175 cientos de galones de helado de primera y 175 cientos de galones de helado ligero por semana para tener una utilidad de $35,000 por semana. Se utilizará toda la capacidad de máquina de mezclado y toda la leche disponible. b. X_1 (0), X_2 (0), porque estas variables están en la solución óptima; S_1 (−83.33) lo que significa que la utilidad semanal se incrementará en 83.33 dólares por cada hora de máquina de mezclado adicional que se pueda encontrar; S_2 (−0.833) significa que la utilidad semanal se incrementa en $.833 por cada galón de leche adicional que se pueda encontrar. • **(15)** a. Utilice 800 toneladas de arena y 700 toneladas de grava por día para un costo de $10,400 por semana. La arena estará al límite máximo, y la grava estará en 100 toneladas por encima del límite mínimo; b. X_1 (0), X_2 (0), porque estas variables están en la solución óptima; S_1 (−2) significa que el costo diario se reduce en 2 dólares por cada tonelada adicional de incremento en el límite máximo de la arena; S_2 (0) significa que el costo diario no cambiará si el límite mínimo de grava se reduce. • **(17)** a. De la fábrica 1 se embarcan 12,000 y 3,000 unidades a los almacenes C y D; de la fábrica 2 se embarcan 3,000, 3,000 y 5,000 unidades a los almacenes A, C y D; de la fábrica 3 se embarcan 6,000 y 9,000 unidades a los almacenes A y B; b. Los valores en la sección de restricciones representan la cantidad de cambio en Z para un cambio unitario en cada lado derecho de las restricciones. Por ejemplo, el .5 en la tercera restricción significa que si la capacidad de la fábrica 3 se incrementara de 15,000 a 15,001, Z se reduciría de $177,000 a $176,999.50 y si su capacidad se redujera de 15,000 a 14,999, Z se incrementaría de $177,000 a $177,000.50. Los valores en la sección de las variables de decisión representan la cantidad de cambio en Z, si se introduce a la solución 1 unidad de una variable no básica. Por ejemplo, si estuviéramos obligados a embarcar una unidad de la fábrica 1 al almacén A, Z se incrementaría de $177,000 a $177,000.40. • **(19)** De la fuente A embarque 200 unidades al destino 2 y 100 unidades al destino 3; de la fuente B embarque 300 unidades al destino 2; de la fuente C embarque 200 unidades al destino 1 y 200 unidades al destino 3; el costo total de embarque será de $540. • **(21)** Vea la respuesta del problema 17. • **(23)** c. La planta de Atlanta debe embarcar 400 sistemas a Chicago y 1,200 a Nueva York; La planta El Paso embarcaría 100 sistemas a Chicago, 1,000 a Dallas, 800 a Denver y 500 a San José; el costo mensual de embarques sería de $191,000. • **(25)** Existen soluciones óptimas alternativas a este problema. Una solución es: de la planta A embarque 70,000 libras al almacén 1; de la planta B embarque 60,000 libras al almacén 3; de la planta C embarque 90,000 libras al almacén 2; el costo mensual de embarque será de $4,000. • **(27)** Asigne a Ann al proyecto 2, Ben al proyecto 1, Cal al proyecto 3 y Dee al proyecto 4; el costo de la asignación será de $1,275.

Aseguramiento de la calidad Sistemas para asegurar el control de calidad en todas las operaciones.

Atributos En control de calidad, características de un producto que se clasifica en una de dos categorías: defectuoso o no defectuoso.

Automatización Integración con fines estratégicos de un rango completo de descubrimientos científicos avanzados y de ingeniería en los procesos de producción.

Automatización dura Uso de maquinaria automática que es difícil de modificar para otros productos.

Automatización flexible Utilización de máquinas automatizadas impulsadas por computadoras que fácilmente se reprograman para otros productos.

B

Benchmarking Práctica de establecer estándares de desempeño internos mediante el estudio de empresas de clase mundial respecto a la forma en que operan sus negocios.

Bienes duraderos de consumo Producto que emplean directamente los consumidores y que se espera que tengan una vida de por lo menos tres años.

C

CAD/CAM Diseño asistido por computadora y manufactura asistida por computadora.

Cajón Unidad principal de medición de tiempo en un sistema de planeación de requerimientos de materiales; por lo general, una semana.

Calidad en la fuente Asignación de la responsabilidad de la calidad de los productos a los trabajadores de la producción, que se espera produzcan componentes de calidad perfecta antes de que estos componentes se pasen a la siguiente operación de la producción.

Calidad promedio de salida (AOQ, por sus siglas en inglés) Porcentaje promedio de defectuosos en lotes que salen de una estación de inspección.

Calificaciones de cercanía Se emplea para reflejar la deseabilidad de tener un departamento cercano a otro.

Cambios a las órdenes planeadas Informes que muestran la forma en que deberían modificarse los programas de órdenes planeadas para permitir una entrega más temprana o posterior para su cancelación o por un cambio en la cantidad.

Canal Línea de espera en un sistema de servicio.

Canales La cantidad de líneas de espera en un sistema de servicio. Un sistema monocanal tiene solamente una línea; un sistema multicanal tiene dos o más líneas.

Cantidad de pedido Cantidad de un material que se ordena cada vez que el inventario se reabastece.

Cantidad económica de pedido (EOQ, por sus siglas en inglés) Cantidad de pedido óptima que minimiza los costos de almacenamiento totales anuales.

Cantidad factible de pedido económico En problemas de descuentos por cantidad. Un EOQ calculado es factible si el EOQ se puede adquirir al costo de adquisición que se utilizó para calcular ese EOQ.

Capacidad de la tasa de entrada Medida que permite que diversas tasas de diversas entradas se conviertan a una unidad común de medición de la entrada.

Capacidad de mantenimiento Capacidad de dar mantenimiento a un producto.

Capacidad de producción Ritmo máximo de producción de una organización.

Capacidad de servicio La velocidad, costo y comodidad de reparaciones y mantenimientos.

Capacidad del proceso La capacidad del proceso de producción para fabricar productos dentro de las expectativas deseadas de los clientes.

Capacidad práctica máxima Caudal de salida obtenido dentro del programa de operación normal para turnos diarios y días por semana mientras se ajustan instalaciones ineficientes de alto costo.

Características Los rasgos o características especiales que llaman la atención de los clientes. Por ejemplo, los frenos de potencia de un automóvil.

Caudal Tasa en la que se genera el efectivo mediante la venta de productos.

Caudal de salida Cada producto o servicio de un sistema de conversión.

Ciclo de inventarios Actividades de detección de una necesidad de material, de colocar un pedido, esperar a que se entregue dicho material, recibir ese material y utilizarlo.

Ciclo pedido-entrega El tiempo transcurrido desde el momento en que un cliente coloca un pedido hasta que el cliente recibe la orden.

Círculo de calidad (círculo QC, por sus siglas en inglés) Grupo pequeño de empleados que de manera voluntaria y periódica se reúnen para analizar y resolver problemas de producción y calidad.

Cliente como participante Existe un alto grado de involucramiento del cliente en este tipo de operación de servicio. Los bienes físicos pueden o no ser una parte significativa de este servicio, y los servicios pueden ser o específicos o estándar. Las ventas al menudeo son un ejemplo de este tipo de operación de servicio.

Cliente como producto En este tipo de operación de servicio, los clientes están tan involucrados que de hecho el servicio se realiza sobre el cliente. Los bienes físicos pueden ser o no una parte significativa de este servicio, y generalmente los servicios son específicos. Ejemplos de este tipo de servicio son los salones de belleza, las clínicas médicas y los hospitales, así como las sastrerías.

Cliente interno La siguiente operación de producción.

Codificación de bajo nivel Codificación de material en el nivel más bajo que el material aparece en cualquier estructura de producto.

Coeficiente de correlación Medida que explica la importancia relativa de la relación entre dos variables.

Coeficiente de determinación Medida de la precisión esperada de un pronóstico y significa la cantidad de variación en una variable explicada por otra variable.

Coeficientes gerenciales Técnica de planeación de la capacidad que describe los procesos de decisión de los gerentes individuales.

Colchón de capacidad Cantidad adicional de capacidad de producción que se agrega a la demanda esperada.

Compañía de clase mundial Cada producto o servicio deberá considerarse como el mejor de su clase por sus clientes.

Componente Parte que se incorpora a un ensamble.

Componente redundante Componente de respaldo incorporado a una máquina o producto.

Componentes de servicio Materiales que se demandan como artículos finales para ser ordenados a los centros de servicio para ser utilizados en la reparación de otros artículos finales. Estos materiales, por lo general, también tienen demandas dependientes que se ensamblan en otros componentes de mayor nivel.

Compradores fantasma Empleados que pretenden ser clientes pero que de hecho vigilan la calidad de los servicios de nivel mundial.

Compras Proceso de adquisición de materias primas, partes adquiridas, maquinaria, suministros y todos los demás bienes y servicios que se utilizan en un sistema de producción.

Confiabilidad Capacidad de un producto de desempeñarse tal y como se espera bajo condiciones normales sin una frecuencia excesiva de falla.

Confiabilidad de los componentes Probabilidad que un tipo de componente no falle en un periodo dado de tiempo o en un cierto número de pruebas bajo condiciones normales de uso.

Confiabilidad del sistema (SR, por sus siglas en inglés) Confiabilidad combinada de todos los componentes que interactúan en una máquina.

Contabilidad perpetua de inventarios Sistema en el cual los registros de almacén se actualizan continuamente conforme los materiales se reciben o se entregan del inventario.

Conteo por ciclos Verificar la exactitud de los registros de inventario contando periódicamente la cantidad de unidades de cada material.

Control estadístico de procesos (SPC, por sus siglas en inglés) Utilización de diagramas o gráficas de control para determinar si se está cumpliendo con los estándares de calidad.

Coproductores Nombre que dan los japoneses a sus proveedores.

Costo anual de adquisición El costo total ya sea de comprar o producir un material para todo el año. Se calcula multiplicando la demanda anual por el costo unitario de adquisición.

Costo anual de hacer pedidos. El costo total de reabastecimiento de inventarios para todo el año. Para un material se calcula multiplicando la cantidad anual de pedidos por el costo de ordenar cada pedido.

Costo de acarreo Costo total de tener un material en inventario, expresado en dólares por unidad por año.

Costo de acarreo de inventarios anual Costo total de proporcionar inventarios para todo el año. Para un material se calcula multiplicando el nivel promedio de inventarios por el costo unitario anual de acarreo de inventarios.

Costo de adquisición Costo de adquirir o producir una unidad de material o de producto.

Costo de faltante de inventario El costo de agotamiento de un inventario. Incluye costos tales como utilidades perdidas a través de ventas perdidas, el costo de quejas de clientes descontentos, expeditación especial, manejo especial de pedidos pendientes y costos adicionales de producción.

Costo de oportunidad Costo en forma de utilidades perdidas.

Costo de ordenar Costo promedio de cada reabastecimiento de inventario de un material; incluye costos tales como el procesamiento de requisiciones de compras, el pedido de compra, cambios de máquina, el correo, llamadas telefónicas, inspecciones de control de calidad e inspección.

Costo de preparación Costo de modificar un paso de procesamiento en un sistema para pasar de procesar un producto a otro.

Costo mínimo de cambio Regla de secuenciamiento mediante la cual, la secuencia completa de los trabajos en espera queda determinada analizando el costo total de efectuar todos los cambios de máquina necesarios entre trabajos.

Costo total anual de inventarios (TSC, por sus siglas en inglés) El costo total de conservar un material en el inventario durante un año. Incluye el costo de acarreo anual y el costo anual de pedir, no incluye el costo de adquisición anual.

Costo total anual del material (TMC, por sus siglas en inglés) El total del costo de adquisición anual y el costo de inventario total anual de un material.

Cuasi manufactura En este tipo de operación de servicio, la producción Q ocurre de manera muy similar a la manufactura. El énfasis se pone en los costos de producción, en la tecnología, en los materiales y productos físicos, en la calidad del producto y en una entrega rápida. Predominan los bienes físicos sobre los servicios intangibles, los productos pueden ser o bien estándar o bien personalizados, y existe poco contacto o involucramiento por parte de los clientes. Las operaciones de oficina trasera de los bancos, los servicios de tratamiento industrial térmicos y las operaciones de mantenimiento de aeroplanos son ejemplos de este tipo de operación de servicio.

Curva característica de operación (OC, por sus siglas en inglés) En el control de calidad, una gráfica del desempeño de un plan de aceptación.

Curva de aprendizaje Curva que ilustra la relación entre la cantidad de unidades producidas y la cantidad de mano de obra requerida por unidad.

D

De mano de obra intensiva Dependen de la mano de obra en lugar del capital como recurso predominante de una operación.

Decisión de control Decisiones a corto plazo relativamente simple sobre la planeación y el control de las operaciones cotidianas.

Decisión de operación Decisión a corto o mediano plazo respecto a la planeación de la producción para cumplir con la demanda.

Decisión estratégica Decisión compleja a largo plazo que se realiza una sola vez sobre un producto, proceso o instalación.

Decisiones sobre el tamaño de lotes Un programa neto de requerimientos, las decisiones de cómo agrupar esos requerimientos en lotes de producción o lotes de compra. Generalmente las decisiones incluyen tanto el tamaño como el tiempo de los lotes.

Demanda anual (D) La cantidad de unidades de material estimado que se van a demandar anualmente.

Demanda dependiente Demanda de un elemento que depende de las demandas de otros elementos de inventario.

Demanda durante el plazo de entrega (DDLT, por sus siglas en inglés) Cantidad de unidades de un material demandado durante el proceso de reabastecimiento del inventario o plazo de entrega.

Demanda en bloques Demanda de un material que tiene un patrón irregular de periodo a periodo.

Demanda esperada durante el plazo de entrega (EDDLT, por sus siglas en inglés) Demanda promedio por día multiplicada por el plazo de entrega promedio.

Demanda independiente Demanda de un elemento que es independiente de la demanda de cualquier otro elemento que se mantenga en inventario.

Departamento de tráfico División de una organización que de manera rutinaria examina los programas de embarques y selecciona métodos de embarque, programas y formas de acelerar las entregas.

Descuento por cantidad Reducción en el precio unitario conforme se piden cantidades más grandes.

Deseconomías de escala Incremento en el costo unitario causado por un volumen de salida generado más allá del punto del mejor nivel de operación para una instalación.

Desembolso Acto de retirar físicamente un material del inventario.

Desempeño Lo bien que el producto o servicio se desempeña en relación con el uso pretendido del cliente. Por ejemplo, la velocidad de una impresora láser.

Desplazamiento para tiempo de entrega Tomar en consideración el tiempo requerido para producir un lote de producción dentro de la planta o recibir un lote comprado a un proveedor. Un requerimiento en un periodo de tiempo necesitará la liberación de la orden en algún periodo de tiempo previo; la cantidad de pedidos entre el requerimiento y la liberación es el desplazamiento y es igual al plazo de entrega.

Despliegue de la función de calidad (QFD, por sus siglas en inglés) Un sistema formal para identificar los deseos de los clientes y para eliminar características negativas de los productos y actividades que no contribuyen.

Desviación media absoluta (MAD, por sus siglas en inglés) Medición de la precisión del modelo pronóstico; suma de los valores absolutos de los errores del pronóstico a lo largo de un periodo dividido entre la cantidad de periodos.

Diagrama de control Diagrama que vigila constantemente una operación de producción para determinar si sus resultados cumplen con los estándares de calidad.

Diagrama de ensamble Diagrama de macrovista que enlista todos los materiales principales, componentes, subensambles y operaciones de ensamble y las inspecciones de un producto.

Diagrama de espina de pescado Diagrama utilizado para rastrear hacia atrás la queja de algún cliente respecto a un problema de calidad de la operación de producción responsable.

Diagrama de flujo Diagrama que muestra el flujo de trabajadores, equipo o materiales durante un proceso.

Diagrama de Gantt Diagrama que coordina los programas de los centros de trabajo y muestra el avance de cada tarea con relación a su fecha programada de terminación.

Diagrama de multiactividad Diagrama que muestra la manera en que uno o más trabajadores funcionan juntos y/o con las máquinas.

Diagrama de operación Tipo de diagrama de procesos que examinan los movimientos coordinados de las manos de un trabajador.

Diagrama de proceso Diagrama que documenta los pasos elementales de alguna de las varias operaciones en la fabricación de un producto.

Diagrama o gráfica de control estadístico Utilizado para llevar control de diversas mediciones de la satisfacción del cliente, utilizando datos reunidos de encuestas de clientes.

Dimensionamiento de lotes Determinación de cuántas unidades se deben producir de un producto para minimizar el costo unitario.

Disciplina de la fila Reglas que determinan el orden en el cual se secuencian las llegadas a través de los sistemas de servicio. Algunas disciplinas comunes en la fila son primeras llegadas, primeros servicios, tiempo más corto de procesamiento, relación crítica y clientes más valiosos se atienden primero.

Diseño asistido por computadora (CAD, por sus siglas en inglés) Proceso computarizado para diseñar nuevos productos o para modificar productos existentes.

Diseño de parámetros Determinación de especificaciones de producto y de ajustes en los procesos de producción que permitirá un desempeño satisfactorio del producto a pesar de condiciones indeseables de producción y del campo.

Obra que presenta de manera integrada y actual temas, conceptos y modelos para una exitosa administración de la producción y las operaciones, su principal propósito es enfatizar el papel de dicha función administrativa en el contexto de una organización, su relación con las demás áreas funcionales y los enfoques de toma de decisiones para una gestión eficiente de la producción y operaciones.

Además, brinda una visión más integral del tema que la mayoría de los textos comúnmente usados en las escuelas de administración tanto a nivel licenciatura como posgrado.

Además de las características anteriores, el presente libro ofrece a los estudiantes y maestros las siguientes ventajas:

- Secciones "Instantáneas industriales", con descripciones de cómo aplican las empresas los temas del capítulo.
- Incluye direcciones de Internet de compañías y organizaciones involucradas en la técnica estudiada, así como tareas en la web.
- Extensa variedad de problemas, casos y preguntas para revisión y discusión, actualizadas para incorporar recientes avances en el área.



International Thomson Editores

Herramientas de aprendizaje

MÉXICO Y AMÉRICA CENTRAL
Tel. (525) 281-2906
Fax (525) 281-2656
Séneca 53, Col. Polanco,
editor@thomsonlearning.com.mx
México, D.F., C.P. 11560

EL CARIBE
Tel. (787) 758-7580
Fax (787) 758-7573
thomson@coqui.net
Hato Rey, PUERTO RICO

AMÉRICA DEL SUR
Tel. (5411) 4325-2236
Fax (5411) 4328-1829
thomson@pop.ba.net
Buenos Aires, ARGENTINA

ESPAÑA
Tel. (3491) 446-3349
Fax (3491) 445-6218
Madrid, ESPAÑA

